

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA**

MARCOS SEVERINO DE LIMA

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAULIM PARA USO EM BLOCOS DE CONCRETO
SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

**Orientadores: Prof. PhD. João Batista Queiroz de Carvalho
Prof. D. Sc. Gelmires de Araújo Neves**

**Campina Grande – PB
Junho / 2005**



L732u Lima, Marcos Severino de.
Utilizacao do residuo de caulim para uso em blocos de concreto sem funcao estrutural / Marcos Severino de Lima. - Campina Grande, 2005.
82 f. il. color.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Residuo de Caulim. 2. Blocos de Concreto. 3. Reciclagem. I. Carvalho, Joao Batista Queiroz, Prof. Dr. II. Neves, Gelmires de Araujo, Prof. Dr. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 628.4(043)

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAULIM PARA USO EM BLOCOS DE CONCRETO
SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

MARCOS SEVERINO DE LIMA

**Dissertação Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e
Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande como Parte dos
Requisitos Necessários Para a Obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - GEOTECNIA.

DISSERTAÇÃO APROVADA POR:



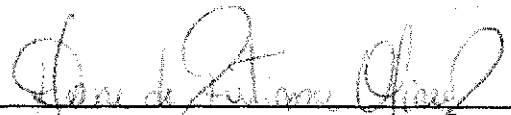
João Batista Queiroz de Carvalho, PhD.

(Orientador – DEC/UFCG)



Gelmires de Araújo Neves, D. Sc.

(Orientador – DEMa/UFCG)



Djane de Fátima Oliveira, Dr^a. Sc.

(Examinador Externo – DQ/UEPB)



Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena, Dr^a. Sc.

(Examinador Interno – DEMa/UFCG)

Campina Grande – PB

Junho / 2005

DEDICATÓRIA:

Aos meus pais **Severino e Creusa**,
aos meus filhos **Malcon, Mailson, Matheus e**
Thuany e à minha amada esposa, **Mércia Cristina**,
Pelo amor, paciência e incentivo transmitido.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor irrestrito e por poder sempre contar com a Sua orientação.

Em especial aos professores Dr. João Batista Queiroz de Carvalho e Dr. Gelmires de Araújo Neves, pela valiosa orientação, instrução e correções, que foram imprescindíveis à realização deste trabalho.

Aos professores do mestrado da área de Geotecnia, pelo os ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos laboratoristas Ruy, Sobreira e Rosimari pela indispensável orientação e ajuda nas realizações dos ensaios e a funcionária Josenira da biblioteca da área de geotecnia pela paciência e amizade.

À Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior - ATECEL[®], pela indispensável colaboração na realização dos ensaios tecnológicos e ajuda financeira.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Roraima (CEFET-RR) por me ter liberado para fazer este mestrado, representado na época pelo então Diretor Geral Sr. Emanuel Alves de Moura e atualmente o Sr. Edvaldo Pereira da Silva.

Aos colegas de mestrado que a sua maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1	
1.1 – INTRODUÇÃO.....	01
1.2 – Objetivos.....	03
1.2.1 – Objetivo Geral.....	03
1.2.2 – Objetivos Específicos.....	03
1.3 – Apresentação da Dissertação.....	04
CAPÍTULO 2	
2.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
2.1 – Introdução.....	05
2.2 – Caulim.....	05
2.3 – Beneficiamento de Caulim.....	08
2.3.1 – Decantação.....	08

2.3.2 – Filtração.....	10
2.3.3 – Secagem e Moagem.....	11
2.4 – Impactos Gerados Pelo Resíduo de Caulim.....	11
2.5 – Alternativas à Minimização do Impacto Ambiental.....	17
2.6 – Blocos Vazados de Concreto Simples.....	26
2.7 – Considerações Finais Sobre a Revisão Bibliográfica.....	32

CAPÍTULO 3

3.0 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 – Matérias.....	33
3.2 – Métodos.....	34
3.2.1 – Caracterização Física.....	35
3.2.1.1 – Análise Granulométrica.....	36
3.2.1.2 – Massa Específica.....	36
3.2.1.3 – Massa Unitária em Estado Solto.....	36
3.2.1.4 – Massa Unitária em Estado Compactado Seco.....	36
3.2.1.5 – Teor de Argilas em Torrões.....	37
3.2.1.6 – Teor de Materiais Pulverulentos.....	37
3.2.2 – Caracterização Mineralógica.....	37
3.2.2.1 – Análise Termodiferencial e Termogravimétrica.....	37
3.2.2.2 – Difração de Raios – x.....	38
3.2.2.3 – Análise Química.....	38
3.2.3 – Ensaio Tecnológicos.....	38
3.2.3.1 – Produção dos Blocos.....	38

3.2.3.2 – Estudo dos Traços.....	39
3.2.3.3 – Moldagem dos Blocos de Concreto.....	40
3.2.3.4 – Cura dos Blocos.....	42
3.2.3.5 – Ensaio de Resistência à Compressão Simples.....	43
3.2.3.6 – Determinação da Absorção de Água.....	44

CAPÍTULO 4

4.0 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
4.1 – Caracterização dos Materiais.....	46
4.1.1 – Cimento.....	46
4.1.2 – Agregado Miúdo (areia).....	46
4.1.3 – Agregado Graúdo (brita).....	48
4.1.4 – Resíduo do Caulim.....	50
4.1.4.1 – Análise Química.....	51
4.1.4.2 – Difração de Raios – x.....	51
4.1.4.3 – Análise Termogravimétrica e Termogravimétrica do Resíduo.....	52
4.2 – Estudo do Resíduo do Potencial de Aplicação do Resíduo de Caulim na Produção de Blocos de Concreto Simples não Estrutural.....	53
4.2.1 – Verificação da Resistência à Compressão Simples.....	59
4.2.2 – Verificação da Absorção de Água.....	68

CAPÍTULO 5

5.0 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	71
5.1 – INTRODUÇÃO.....	71

5.2 – CONCLUSÕES.....71

5.3 – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....73

CAPÍTULO 6

6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....74

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tanques de decantação.....	09
Figura 2.2 – Máquina para prensagem do caulim em forma de blocos.....	10
Figura 2.3 – Forno utilizado na secagem do caulim.....	11
Figura 2.4 – Caracterização e classificação de resíduos.....	12
Figura 2.5a – Impacto ambiental no processo de beneficiamento do caulim.....	14
Figura 2.5b – Impacto ambiental no processo de beneficiamento do caulim.....	14
Figura 2.6 – Fluxo de Materiais em um sistema econômico e as possibilidades de seu Reaproveitamento.....	20
Figura 2.7 – Estratificação da produção nacional de blocos de concreto.....	30
Figura 2.8 – Alguns modelos de blocos fabricados no Brasil.....	31
Figura 3.1 – Fluxograma dos ensaios realizados na caracterização dos materiais.....	34
Figura 3.2 – Etapas do processo de moldagem dos blocos.....	41
Figura 3.3 – Detalhe da câmara úmida.....	42
Figura 3.4 – Detalhe do tanque de imersão.....	42
Figura 3.5 – Prensa Utilizada no ensaio de Resistência a Compressão Simples.....	44
Figura 4.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83.....	47
Figura 4.2 – Curva granulométrica do agregado graúdo.....	49
Figura 4.3 – Curva granulométrica do resíduo.....	50
Figura 4.4 – Difratoograma do resíduo de caulim.....	52

Figura 4.5 – Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo.....	53
Figura 4.6 – Comparação entre as médias depuradas da resistência a compressão simples dos blocos no traço 1: 4.....	65
Figura 4.7 – Comparação entre as médias depuradas da resistência a compressão simples dos blocos no traço 1: 6.....	66
Figura 4.8 – Comparação entre as médias depuradas da resistência a compressão simples dos blocos no traço 1: 8.....	67
Figura 4.9 – Comparação entre as médias da absorção de água dos blocos convencionais e alternativos para período de cura de 28 dias.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Efeitos deletérios na natureza.....	21
Quadro 2.2 – Hierarquia de gerenciamento de resíduos.....	23
Quadro 2.3 – Características recomendadas para agregados destinados à produção de blocos de concreto.....	27
Quadro 2.4 – Propriedades do concreto para blocos no estado endurecido.....	30
Quadro 3.1 – Características físicas do cimento utilizado.....	35
Quadro 3.2 – Características químicas do cimento utilizado.....	35
Quadro 4.1 – Características físicas do agregado miúdo (areia).....	46
Quadro 4.2 – Composição granulométrica do agregado miúdo (areia).....	47
Quadro 4.3 – Características físicas do agregado graúdo.....	48
Quadro 4.4 – Composição granulométrica do agregado graúdo.....	49
Quadro 4.5 – Composição química do resíduo de caulim.....	51
Quadro 4.6 – Traços de referência 1:4, 1:6 e 1:8 utilizados na confecção dos blocos convencionais de concreto.....	55
Quadro 4.7 – Traço 1:4 com incorporação de resíduo de caulim.....	56
Quadro 4.8 – Traço 1:6 com incorporação de resíduo de caulim.....	57
Quadro 4.9 – Traço 1:8 com incorporação de resíduo de caulim.....	58

Quadro 4.10 – Resistência à compressão simples dos blocos convencionais para período de cura de 7 dias.....	59
Quadro 4.11 – Resistência à compressão simples dos blocos com incorporação de resíduo para período de cura de 7 dias.....	60
Quadro 4.12 – Resultados individuais para resistência à compressão simples dos blocos no traço 1:4.....	61
Quadro 4.13 – Resultados individuais para resistência à compressão simples dos blocos no traço 1:6.....	62
Quadro 4.14 – Resultados individuais para resistência à compressão simples dos blocos no traço 1:8.....	64
Quadro 4.15 – Resultados individuais da absorção por imersão dos blocos e sua média nos traços 1:4, 1:6 e 1:8.....	68

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
EIA – Estudo de Impacto Ambiental;
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental;
PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas;
SIF – Sociedade de Investigações Florestais;
UFV – Universidade Federal de Viçosa;
NBR – Norma Brasileira;
CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo;
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente;
SINAPROCIM – Sindicato Nacional das Industrias de Produtos de Cimento;
CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba;
ATD – Análise Térmica Diferencial;
ATG – Análise Termogravimétrica;
DRX – Difração de Raios – x;
LAM – Laboratório de Análises Mineraias;
PR – Perda ao Rubro;
RI – Resíduo Insolúvel;
CCT – Centro de Ciências e Tecnologia;
UFCG – Universidade Federal de Campina Grande;
 A_b – Absorção de Água;
RCS – Resistência à Compressão Simples;
A/C – Relação Água/Cimento;
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAULIM PARA USO EM BLOCOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

RESUMO

A mineração é uma das grandes atividades econômica no Estado da Paraíba, possuindo um grande potencial no setor de mineração principalmente de caulim e granito. Consciente da problemática ambiental causada pela deposição inadequada do rejeito proveniente do processo de beneficiamento desses minerais, a Universidade Federal de Campina Grande vem desenvolvendo vários estudos direcionados ao aproveitamento destes rejeitos, seja na incorporação de argamassas de assentamento, como "filler" na produção de misturas asfálticas, na confecção de tijolos de sílica-cal ou na confecção de blocos com e sem função estrutural para serem usados na construção civil. Esta pesquisa tem como objetivo estudar a potencialidade do resíduo de caulim para uso em blocos de concreto simples sem função estrutural. Para viabilizar este trabalho foram realizados ensaios de caracterização tais como: análise granulométrica, massa específica, massa unitária, análise química, análise termodiferencial e termogravimétrica e difração de raios - X. Para os ensaios tecnológicos foram estudados os traços convencionais 1:4; 1:6 e 1:8 e os mesmos traços com incorporação de resíduo de caulim nas proporções de 15% e 20% em relação à massa do agregado miúdo (areia) presente nos traços convencionais. As propriedades físico-mecânicas dos blocos foram determinadas através da resistência a compressão simples e absorção de água de acordo com as normas da ABNT NBR 7184/91 e NBR 12111/91 respectivamente. Após análise dos resultados podemos concluir que os blocos de concreto simples sem função estrutural incorporado com resíduos de caulim apresentaram valores dentro das especificações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Palavras-Chaves: Resíduo de caulim; Blocos de concreto; Reciclagem.

USE OF THE KAOLIN RESIDUE TO FABRICATE CONCRETE BLOCKS FOR NON-STRUCTURAL FUNCTION

ABSTRACT

The mining is an economic activity in the state of the Paraíba, possessing a great potential in the kaolin mining and granite. Conscientious of the hazard caused in the ambient inadequate deposition of the reject produced due to inadequate deposition process of these minerals, the UFCG is developing studies directed to the re-use of these waste materials, either by incorporating into mix, as "to filler" in the production of asphalt mixtures, or in the fabrication of silica-whitewash bricks or in the use in blocks with and without structural function which can be used in civil construction. This thesis has the objective of studying the potentiality of the block-type kaolin residue for use of simple concrete without structural function. In order to achieve this characterization tests such as: grain size distribution; specific gravity, unit weight, chemical analysis, thermogravimetric analysis and X ray diffraction. For the technological tests conventional mixer was traces 1:4 studied; 1:6 and 1:8 and with incorporation of kaolin residue in the proportions of 15% and 20% in relation to the mass of the small aggregate (sand) present in the conventional mixer. The physical and mechanical properties of the blocks were determined through the unconfined compressive tests and water absorption in accordance with the ABNT NBR 7184/91 and NBR 1211/91 respectively. After analysis of the results it can be concluded that the blocks of conventional concrete without incorporated structural function with kaolin residues presented values according to specifications of Brazilian Association of Norms Techniques.

Keys Words: Kaolin residue; Blocks of concrete; Recycling.

CAPÍTULO I

1.1 - INTRODUÇÃO

O caulim é uma argila constituída, principalmente por caulinita e/ou haloisita. Geologicamente existem dois tipos de caulim: a) caulim residual, quando são encontrados no local em que se formaram pela ação de intemperismo ou hidrotermal sobre rochas, esse caulins geralmente se apresentam constituídos por quartzo, mica moscovita e por caulinita bem cristalizado, b) caulins sedimentares, quando resultam de transporte, deposição e purificação de caulins primários ou argilas caulinitas por meio de correntes de água doce e matéria orgânica, esses caulins apresentam em sua constituição, mica, quartzo e teor de 1 a 2% de dióxido de titânio (SOUZA SANTOS, 1992).

O Brasil possui grandes reservas de caulins, sendo os estados de Amapá, Pará, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul responsáveis por mais de 99,0 % da oferta de caulim beneficiado. Em 2000, só os Estados do Amapá e do Pará produziram 84,0 % da oferta nacional. Já os estados Bahia, Paraíba e Paraná também aparecem como produtores de caulim beneficiado em pequena escala.

As indústrias beneficiadoras de caulim, vêm preocupando os ambientalistas devido a enorme quantidade de resíduos gerados, que vêm sendo lançados no ecossistema sem nenhum processo de tratamento para eliminar ou reduzir seus constituintes presentes.

Os impactos ambientais, causados pelas empresas mineradoras de beneficiamento de caulim primário ou residual, no Estado da Paraíba, podem ser classificadas em duas etapas. Na primeira etapa, o impacto é originado pelo primeiro beneficiamento, ou seja, de cada tonelada bruta 70% vira resíduo grosso. Na segunda etapa o impacto ambiental é gerado pelo segundo beneficiamento do material que fica retido em peneira nº 200, o resíduo fino. Sendo estes resíduos freqüentemente depositados as margens de rodovias, estradas e sobre a

vegetação nativa e geralmente são compostos por uma grande quantidade de sílica e uma pequena proporção de feldspato e mica.

Pesquisa sobre reciclagem de resíduos, principalmente os de mineração vêm sendo desenvolvidas por vários pesquisadores em todo mundo. Segundo NEVES (2002) as razões que motivaram estas pesquisas de maneira geral são: redução do impacto ambiental, esgotamento das matérias prima não renováveis, redução de custos, redução do consumo de energia e melhoria na saúde da população.

A reciclagem de resíduos é uma das maneiras de diversificar a oferta de matéria – prima para a utilização como materiais de construção, viabilizando reduções de preço. Assim a reciclagem de resíduos como materiais de construções, contribuem para preservação ambiental e para o aperfeiçoamento de política social (JOHN, 2000). Este mesmo autor afirma que a caracterização de resíduo industrial a ser incorporado num traço para uso em construção civil envolve aspectos químicos, físicos e de risco ambiental, tanto em seus valores médios como na sua dispersão ao longo do tempo.

A construção civil é um dos ramos da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado a absorver boa parte dos resíduos sólidos, principalmente os de mineração. Sob este ponto de vista, e associando-se a ele a necessidade de atender às exigências de manejo e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades industriais que vêm sendo impostas principalmente nas últimas três décadas pelas leis ambientais, pelos movimentos ecológicos em todo o mundo, e pelas tarifas ambientais que vêm substituindo as convencionais, o setor de industrialização de extração mineral precisa de gerenciamento e maior conscientização da responsabilidade de se fazer um trabalho a longo prazo, com o respeito ao meio ambiente e a comunidade.

Baseado no exposto e na potencialidade da industrialização do caulim no Brasil observa-se a constante necessidade de estudos que permitam um aproveitamento racional do resíduo proveniente das indústrias beneficiadoras desse mineral para uso como material de construção. Portanto, este trabalho tem como objetivo estudar com mais profundidade a potencialidade deste resíduo proveniente do processo de extração e beneficiamento do caulim, em especial no Estado da Paraíba, a ser utilizado como incorporação ao agregado miúdo, na produção de blocos de concreto sem função estrutural para serem empregados na construção civil.

1.2 - Objetivos

1.2.1 - Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral estudar a potencialidade do resíduo de caulim para uso na fabricação de blocos vazados de concreto simples não estrutural em substituição parcial ao agregado miúdo.

1.2.2 - Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física e mineralógica das matérias-primas convencionais e alternativas (resíduo) utilizadas na pesquisa;
- determinar os traços convencionais e alternativos e os fatores de água/cimento considerados ideais para a moldagem dos blocos de concreto;
- determinar as propriedades físico-mecânicas dos blocos de concreto produzidos de acordo com a norma da ABNT;

- comparar os resultados obtidos para os blocos alternativos com os blocos convencionais e as normas da ABNT.

1.3 - Apresentação da Dissertação

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O capítulo 1 introduz o tema e os objetivos gerais e específicos deste trabalho de pesquisa.

No Capítulo 2, é feita uma breve revisão bibliográfica sobre os materiais usados no trabalho de pesquisa, bem como, a problemática gerada pela deposição de resíduos no meio ambiente.

O capítulo 3 apresenta os materiais e a metodologia experimental, tais como, caracterização dos materiais e ensaios tecnológicos.

No capítulo 4, são apresentados os resultados e a análise dos resultados obtidos e no capítulo 5 têm-se as conclusões deste trabalho e sugestões para futuras pesquisas. Em seguida, no capítulo 6, são apresentados os referenciais bibliográficos utilizados nesta pesquisa.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo trata de uma revisão bibliográfica, onde são abordados os seguintes tópicos:

- ❖ Caulim e beneficiamento.
- ❖ Impactos ambientais gerados pelos resíduos provenientes do processo de mineração e industrialização;
- ❖ A importância do uso adequado dos resíduos gerados no processo de industrialização de minerais;
- ❖ Reciclagem de resíduos para uso em construção;
- ❖ Blocos de concreto de vedação e seus constituintes.

2.2 - Caulim

O caulim é um material formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita. Também podem ocorrer os minerais do grupo da caulinita: diquita, nacrita, folerita, anauxita, colirita e tuesita. Além disso, o caulim sempre contém outras substâncias sob a forma de impurezas, desde traços até a faixa de 40 – 50% em volume, consistindo, de modo geral, de areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio, etc. A fórmula química dos minerais do grupo da caulinita é $Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$, onde m varia de 1 a 3 e n de 2 a 4 (SILVA, 1993).

Embora o mineral caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) seja o principal constituinte do caulim, outros elementos além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio geralmente estão presentes. A composição química do caulim é usualmente expressa em termos de óxidos dos vários elementos, embora eles possam estar presentes em forma mais complexa e por vezes desconhecida.

Dois tipos de caulins costumam ser considerados tecnologicamente: a) caulins residuais, quando são encontrados no local em que se formaram pela ação de intemperismo ou hidrotermal sobre rochas; b) caulins sedimentares, quando resultam do transporte, deposição e purificação de caulins primários ou argilas cauliniticas por meio de correntes de água doce e matéria orgânica (SOUZA SANTOS, 1992).

A primeira utilização industrial do caulim foi na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana há muitos séculos atrás. A partir da década de 1920 é que se teve início a aplicação do caulim na indústria de papel, sendo seguida pelo uso na indústria da borracha. Posteriormente, o caulim passou a ser utilizado em plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes entre outros, tendo atualmente uma variedade muito grande de aplicações industriais.

Durante a Segunda Guerra Mundial, foram feitos extensivos estudos das províncias pegmatíticas brasileiras para a extração de minerais estratégicos, como columbita-tantalita, e outros, como mica moscovita em placas para uso como isoladores elétricos (PAIVA, 1946). A partir desses estudos, verificou-se a existência nesses pegmatitos, de grandes depósitos de caulins residuais nas cores rosa e branca, passíveis de serem explorados comercialmente. Esses depósitos ocorrem em grandes áreas nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, na serra da Borborema. Inicialmente eram usados para a fabricação de

azulejos em Pernambuco e agora são usados na produção de papel (MATTOSO e VIDAL, 1996; FERREIRA, 1972).

O caulim tem muitas aplicações industriais e novos usos estão constantemente sendo pesquisados e desenvolvidos. É um mineral industrial de características especiais porque é quimicamente inerte dentro de uma ampla faixa de pH; tem cor branca; apresenta ótimo poder de cobertura quando usado como pigmento ou como extensor em aplicações de cobertura e carga; é macio e pouco abrasivo; possui baixas condutividades de calor e eletricidade, e seu custo é mais baixo que a maioria dos materiais concorrentes. Suas principais aplicações atualmente são como agentes de enchimento (filler) no preparo de papel; como agente de cobertura (coating) para papel "couché" e na composição das pastas cerâmicas.

Em menor escala, o caulim é usado na fabricação de materiais refratários, plástico, borrachas, tintas, adesivos, cimentos, inseticidas, pesticidas, produtos alimentares e farmacêuticos, catalisadores, absorventes, dentifrícios, clarificantes, fertilizantes, gesso, auxiliares de filtração, cosméticos, produtos químicos, detergentes e abrasivos, além de cargas e enchimentos para diversas finalidades (SILVA, 1993).

As reservas mundiais de caulim são bastante abundantes e de ampla distribuição geográfica. Porém, apenas 4 países detêm cerca de 95, 0% de um total estimado de aproximadamente 14,2 bilhões de toneladas, são eles Estados Unidos (53,0%), Brasil (28,0%), Ucrânia (7,0%) e Índia (7,0%). As reservas brasileiras de caulim atingiram, em 2000, um total em torno de 4,0 bilhões de toneladas, das quais 2,2 bilhões são medidas. O somatório destas com as reservas indicadas (reservas apontadas, mas não calculadas) atingiram 3,7 bilhões de toneladas, correspondendo a 92,5% das reservas totais. Os Estados do Amazonas, Pará e Amapá são as Unidades da Federação com maior destaque, participando, respectivamente, com 63,4%, 18,9% e 8,9% do total das reservas.

No período de 1988 a 2000, pode-se destacar o significativo incremento das reservas de caulim, ocorrido em 1996, passando de um patamar em torno de 1,6 bilhão de toneladas para 4,0 bilhões, face às descobertas do Estado do Amazonas, ainda não aproveitadas.

No período de 1988 a 2000, a produção bruta passou de 2,1 milhões para 3,7 milhões de toneladas, registrando um aumento de 76,2%, enquanto que a beneficiada passou de 796 mil para 1,7 milhão de toneladas, acusando um aumento de 135,7%, considerando-se os extremos do período em análise, o que representa crescimentos anuais de 4,83% e 6,53%, respectivamente (ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, 2000).

2.3 – Beneficiamento de Caulim

2.3.1 - Decantação

A produção industrial do caulim primário começa com sua extração no estado bruto e sua separação da sílica. Após realizada essa etapa, inicia-se o processo de beneficiamento constituído de três etapas: decantação, filtração e processo de secagem e moagem. O processo de decantação tem como finalidade classificar as parcelas da mistura de acordo com a sua granulometria, para destiná-las, à sua utilização final.

O material é disperso em água e se inicia a primeira lavagem do material bruto seguindo de seu transporte por gravidade até o coberto de peneiramento. Nesse transporte se realiza a separação do material grosso da mistura facilitando o peneiramento. Nessa etapa já se verifica uma grande quantidade de rejeito produzido correspondendo ao resíduo grosso na obtenção do mineral caulim.

O coberto é formado por um conjunto de peneiras nº 200, de abertura 0,074mm, e peneiras nº 325, de abertura 0,044mm, que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha. Nesse sistema, a mistura é classificada de acordo com as dimensões de suas partículas. Todo o material que passa nas

peneiras nº 200 corresponde ao caulim que será beneficiado. Caso seja necessário um melhor refinamento do minério, ele é passado nas peneiras nº 325. O material retido nas peneiras de abertura 0,074mm é rejeitado e consiste no resíduo fino da cadeia produtiva do caulim. Este material é conhecido, usualmente, como a “Borra do Caulim” (GUIMARÃES, 2004).

O material peneirado é bombeado, por gravidade, através de tubulações para um sistema de tanques onde se inicia a fase de decantação e sedimentação, segunda lavagem do caulim . Este sistema é formado por seis tanques. O primeiro tanque recebe a mistura e é preenchido completamente com água destilada. Nele ocorre a separação da fração de maior granulometria através da sedimentação. A Figura 2.1 mostra tanques de decantação para o beneficiamento do caulim.

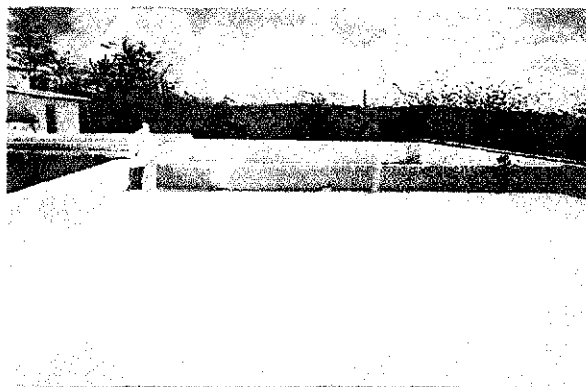


FIGURA 2.1 – Tanques de decantação.

A fração mais fina que se posiciona na região superficial passa, por transbordamento, para o segundo tanque que apresenta um desnível de altura em relação ao primeiro, onde acontece a sedimentação da fração mais grossa. A parcela mais fina é transbordada para o terceiro tanque. Neste tanque repete-se o mesmo procedimento de sedimentação descrito, acontecendo o mesmo no quarto tanque. (GUIMARÃES, 2004).

A água superficial que não transborda é vazada para um outro tanque de onde é reciclada para a fase inicial de dispersão do minério bruto. Um dos materiais sedimentados em cada um dos tanques é escolhido de acordo com a utilização final e destinado ao tanque de vazamento, de onde será retirado para a realização do segundo processo da cadeia produtiva.

2.3.2 – Filtração

Neste processo é retirada, com o maior aproveitamento possível, a água misturada com o caulim proveniente do tanque de vazamento, reduzindo assim a umidade do mineral. Este processo é realizado através do método da prensagem, em que a mistura é recalçada para dentro de uma prensa, por meio de uma bomba de recalque. A mistura retida é prensada, a água é eliminada da mistura, os vazios são compactados e o caulim fica armazenado na forma de blocos. A Figura 2.2 mostra uma prensa utilizada no processo de filtração na qual a água é retirada e o caulim é prensado em forma de blocos.

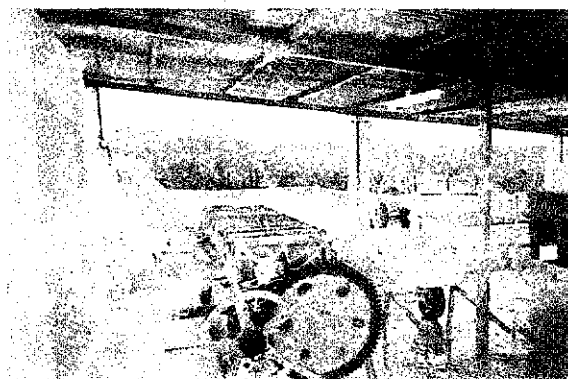


FIGURA 2.2 – Máquina para prensagem do caulim em forma de blocos.

2.3.3 – Secagem e Moagem

Para a perda total da umidade, os blocos de caulim são encaminhados à fase de secagem. Na primeira etapa eles são expostos ao sol e às correntes de ar onde ficam parcialmente secos. Posteriormente os blocos de caulim são dispostos no forno para a completa secagem do material. Nessa etapa ocorre desagregação das partículas. Em seguida, o material é destorroado para facilitar a técnica da moagem. Todo o caulim é colocado em um moinho e o material coletado corresponde ao caulim beneficiado, produto final de todos estes processos, sendo finalmente ensacado e destinado à comercialização. Na Figura 2.3 é mostrado um forno utilizado na secagem final do caulim.

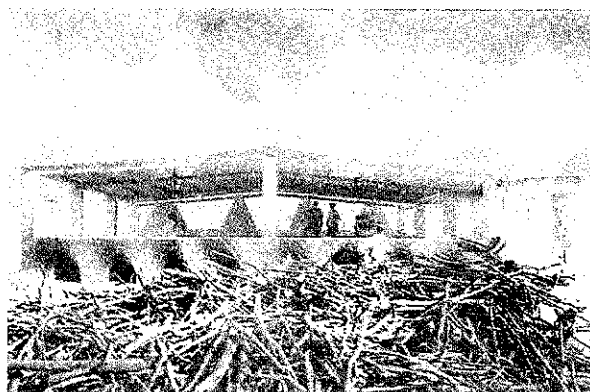


Figura 2.3 – Forno utilizado na secagem do caulim

2.4 – Impactos Gerados Pelo Resíduo de Caulim

Todo tipo de resíduos deve ser avaliado quanto a sua periculosidade ao meio ambiente, umas das normas para tal avaliação é a norma da ABNT NBR 10004/2004. Esta norma tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, com isso fornecendo subsídios a um gerenciamento adequado. A Figura 2.4 apresenta um fluxograma que mostra de forma sintetizada a seqüência para caracterização e classificação de resíduos sólidos. A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e

características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (NBR 10004:2004 –ABNT).

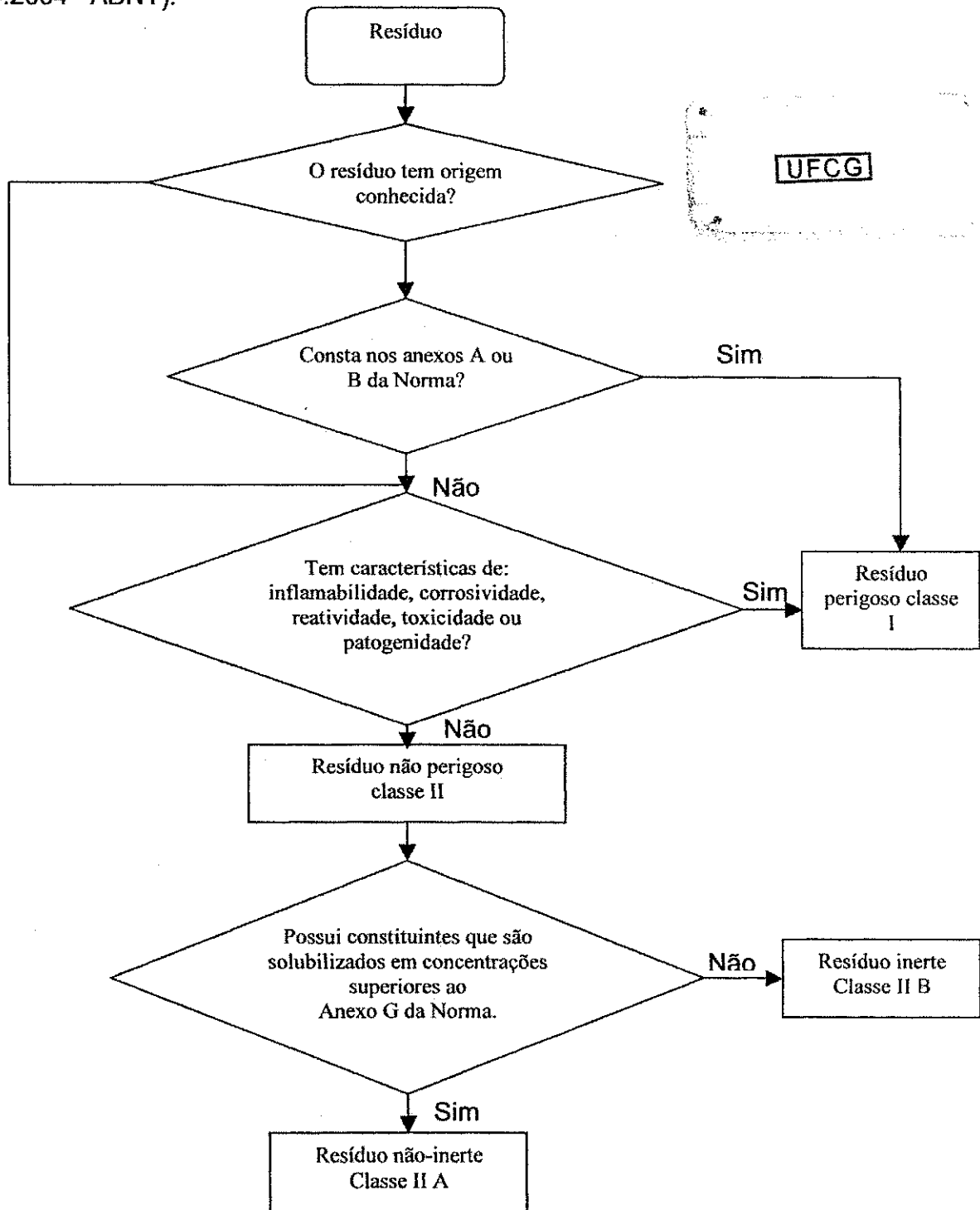


Figura 2.4 – Caracterização e classificação de resíduos.
 Fonte: NBR 10004: 2004 – ABNT

Entende-se por impacto ambiental, uma alteração na qualidade do meio ambiente resultante da modificação de processos naturais ou sociais provocada pela ação humana, ou ainda, como uma alteração na qualidade ambiental em consequência dos efeitos ambientais induzidos por projetos, como, por exemplo, em projeto de lavra que causa alteração na qualidade do ar ou das águas (ARAÚJO, 2002; apud NEVES, 2002).

Segundo a resolução do CONAMA (01/86), o impacto ambiental pode ser definido como sendo qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou naturais do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam:

- A saúde, segurança e o bem estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- O conjunto de plantas e animais de uma determinada área;
- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- A qualidade dos recursos naturais.

Assim, todo e qualquer efeito que degrada ao meio ambiente, decorrente de um processo industrial deve ser considerado, bem como quaisquer alterações que o mesmo possa causar ao meio ambiente, incluindo efeitos sobre a saúde, condições sócio – econômicas, patrimoniais, culturais ou físicos (FELLENBERG, 1980 apud ARAÚJO, 2002).

É durante a fase de lavagem e classificação do tamanho das partículas da mistura que se tem a geração do resíduo da cadeia produtiva do caulim. Estima-se que é gerada uma grande quantidade de resíduo, pois 70% da matéria-prima bruta é rejeitada durante o processo (BARATA 2002). Todo material rejeitado é depositado a céu aberto, pois as indústrias beneficiadoras não têm a preocupação de construir tanques de deposição, lançando a imensa quantidade de rejeito no meio ambiente, uma vez que o resíduo em si não é tóxico. As Figuras 2.5a e 2.5b

mostram o impacto ambiental gerado pela indústria no processo de beneficiamento do caulim.



Figura 2.5a – Impacto ambiental no processo de beneficiamento do caulim.

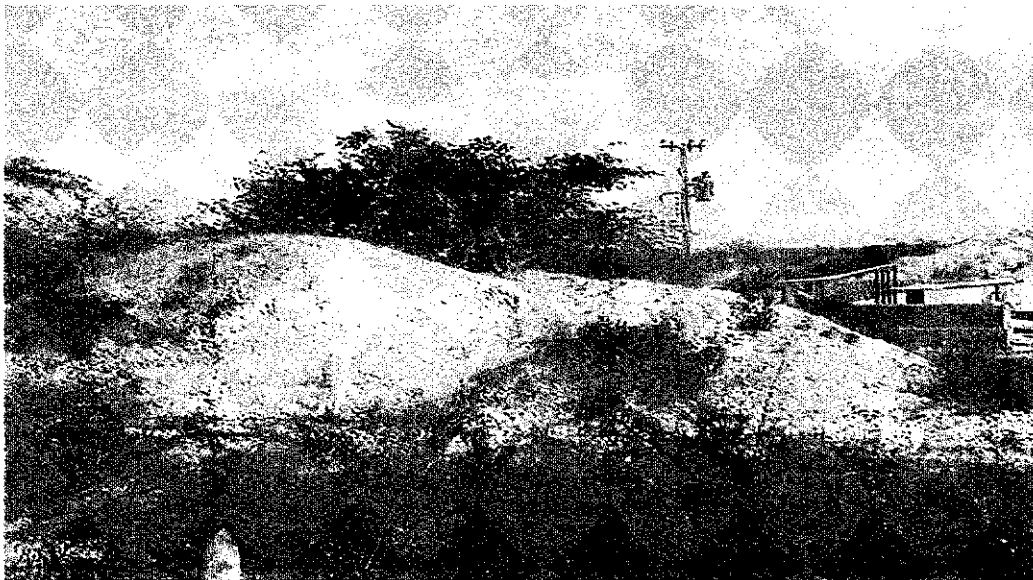


Figura 2.5b – Impacto ambiental no processo de beneficiamento do caulim.

O trabalho de lavra necessário às atividades minerárias de caulim prejudicam as condições ambientais, esse processo é iniciado com a pesquisa,

caracterização do corpo e qualidade do minério até atingir as etapas de beneficiamento e transporte dos resíduos.

Durante o processamento do caulim, ocorre a produção de rejeitos líquidos (que são lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados). Esses rejeitos podem conter, além de outros contaminantes, concentração de metais como o Ferro (Fe), Alumínio (Al), Zinco (Zn) e Cádmo (Cd), acima do permitido pela legislação. Os reflexos dessa contaminação extravasam, freqüentemente, os limites das áreas de trabalho, atingindo também a topografia, flora, fauna, sistema hídrico e morfofisiológico do solo, etc. (AUMOND & BALISTIERI, 1997).

Os resíduos provenientes das indústrias beneficiadoras do caulim, são distribuídos, numa quantidade considerável, diretamente no meio ambiente sem critérios de proteção, sendo causadores de impactos ambientais. O resíduo do caulim, argila caulinita, causa alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos, sendo responsável pela contaminação das águas dos rios deixando-a esbranquiçada e turva. O material altera quimicamente a água, diminuindo a quantidade de plâncton e provocando a morte de peixes. Além disso, também é responsável pela desfiguração da paisagem.

Embora exista uma preocupação ambiental, por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do caulim ainda causa transtornos, tais como a produção excessiva de particulados, gerados durante o transporte de caulim (matéria-prima bruta) e produção de rejeitos (resíduos). Esses resíduos, quando secos, transformam-se em pó e, pela ação dos ventos, esse pó espalha-se pelas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua (ROCHA, 2005).

Visando a mitigar tais impactos, algumas empresas do ramo, juntamente com os órgãos competentes, têm elaborado os Estudos de Impacto Ambientais e Relatório de Impacto Ambientais(EIAs/RIMAs) acompanhados de Plano de

Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) para aprovação de novas áreas a serem mineradas, legalização das minas em atividade e recuperação das áreas já inativadas. Como um desses exemplos, cita-se a Empresa de Mineração Caolinita, que há 48 anos possui sua sede no município de Ubá - MG. Essa empresa conta com o apoio da Sociedade de Investigações Florestais vinculada a Universidade Federal de Viçosa (SIF/UFV) para a elaboração e a execução de projetos que visam à legalização ambiental de seus trabalhos junto à FEAM - MG (Fundação Estadual do Meio Ambiente).

Com o advento da Revolução Industrial, a capacidade da humanidade de intervir na natureza deu um salto gigantesco e continua a aumentar sem cessar, causando grandes danos ambientais. Entretanto, o constante desenvolvimento da tecnologia oferece aos homens alguns meios para controlar esses danos. Mas, mesmo que todas as atividades produtivas humanas respeitassem princípios ecológicos básicos, sua expansão não pode ultrapassar os limites ambientais globais que definem a "capacidade de suporte" (carrying capacity) da Terra, sem que ocorram grandes catástrofes ambientais.

Como não é conhecida qual é a capacidade de suporte, e é muito difícil determiná-la com precisão, é necessário adotar uma postura preventiva que implica em agir sem esperar que ocorra o desastre ambiental. Com isso, o impacto ambiental gerado com a intervenção do homem na natureza, provavelmente causará menos danos.

Segundo o United Nations Environment Programme (1999) a população mundial que era um pouco mais de 2,5 bilhões em 1950 cresceu para quase 6 bilhões em 1999 e a economia mundial também cresceu cerca de cinco vezes nesse mesmo período, contudo a quantidade de recursos naturais é limitada e a natureza não tem grande capacidade de absorver as mais variadas quantidades de resíduos ilimitadamente (LIDDLE, 1994 apud JOHN, 2000).

2.5 - Alternativas à Minimização do Impacto Ambiental

No mundo globalizado é cada vez a maior a busca de um desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável é definido como aquele que permite atender às necessidades básicas de toda a população e garantir a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (CHEN & CHAMBER, 1999).

Entretanto há dois pontos a serem considerados nesta definição. O primeiro, está certo que as gerações futuras precisarão de recursos naturais, mas não se conhecem as suas verdadeiras necessidades e o segundo ponto, relaciona o que é sempre mantido, com o que está em constante transformação (HILL et al, 1994 apud JOHN, 2000).

O crescimento econômico aliado à preservação da natureza e a justiça social são as principais metas do desenvolvimento sustentável, com isso haverá uma mudança nas formas de relacionamentos entre as nações e na cultura porque haverá uma mudança nos padrões de consumo (ONU, 1992). O desenvolvimento sustentável defende a separação entre o crescimento e o impacto ambiental, portanto para se atingir a essa finalidade, são necessárias várias etapas como a diminuição do consumo de matérias primas para a produção de um determinado bem, a redução do consumo de energia e a diminuição da poluição gerada (JOHN, 2000).

CRAVEN et al., 1994, definiu o modelo de produção usado no desenvolvimento sustentável como um modelo cíclico de produção e consumo, ou modelo do ciclo fechado (CURWELL; COOPER, 1998). Isto é, os bens produzidos não possuem como destinação final de sua vida útil o seu acúmulo no meio ambiente.

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos (GÜNTHER, 2000). Uma das formas de solução para os problemas gerados é a reciclagem de resíduos, em que a construção civil tem um grande potencial de utilização dos resíduos, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais (JOHN, 2000; LEVY, 1997; PINTO, 1999).

Na verdade, sabe-se que ações isoladas não irão solucionar os problemas advindos por este resíduo e que a indústria deve tentar fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não renovável (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

Embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que existem impurezas na matéria-prima, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico (SOUZA et al., 1999; JOHN, 2000).

Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios citados abaixo:

- Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000).
- Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).
- Redução do consumo de energia durante o processo de produção. Destaca-se a indústria do cimento, que usa resíduos de bom poder calorífico para a obtenção de sua matéria-prima (co-incineração) ou utilizando a escória de alto-forno, resíduo com composição semelhante ao cimento (JOHN, 2000).

- Redução da poluição; por exemplo, para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999).

Portanto, o desenvolvimento sustentável implica uma redução no uso de matérias primas naturais, como também uma mudança em direção a padrões de consumo que não impliquem o crescimento contínuo e ilimitado do uso de recursos naturais per capita. O fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos, a partir da reciclagem de resíduos, é uma alternativa. Para tanto, a inovação tecnológica para reciclagens eficientes e seguras, que resultem em produtos com qualidades técnicas adequadas e sejam competitivos nos diferentes mercados é um constante desafio, inclusive do ponto de vista metodológico (CAVALCANTE e CHEIRIAF, 1996).

A Figura 2.6 mostra um fluxograma do processo de industrialização de materiais e a possibilidade de seu reaproveitamento, levando em conta o desenvolvimento harmônico e sustentável.

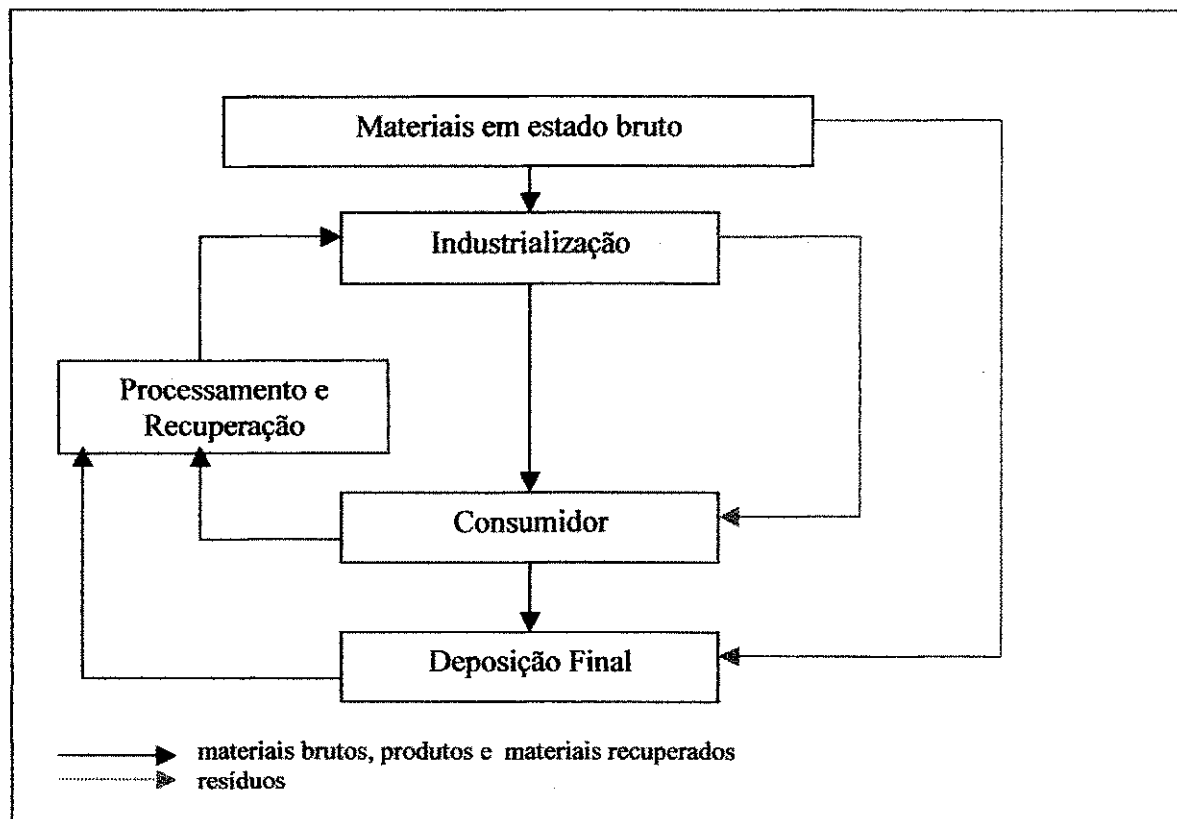


Figura 2.6 – Fluxo de Materiais em um Sistema Econômico e as Possibilidades de seu Reaproveitamento (MÖLLER e BARROS, pg. 183, 1988).

O desenvolvimento harmônico e sustentável é aquele em que se busca, necessariamente, respeitar o meio ambiente, a partir do uso equilibrado dos recursos naturais – com a necessária economia daqueles não renováveis – propiciar o desenvolvimento de tecnologias que permitam reciclar, cada vez mais, os materiais utilizados na produção de bens de consumo (CHIAVERINI, 1994).

O conceito de desenvolvimento sustentável é um conceito normativo que surgiu com o nome de ecodesenvolvimento no início da década de 1970 (MAY et al, 2003). Entretanto, a autoria do termo ecodesenvolvimento não é bem estabelecida, contudo é atribuído a Ignacy Sachs, da Escola de Altos Estudos em Ciências Sociais (EHESS) de Paris.

O conceito de desenvolvimento sustentável, cunhado a partir da integração das dimensões econômico-sociais e político-cultural, tornou-se fundamental para o planejamento de estratégias no desenvolvimento das nações no mundo globalizado. Pois, sabe-se que o uso indiscriminado dos recursos naturais afeta drasticamente o meio ambiente. Estes efeitos deletérios na natureza podem ser resumidos conforme descrito no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Efeitos deletérios na natureza.

Aquecimento global da atmosfera.
Esgotamento da camada de ozônio da estratosfera.
Crescente contaminação da água e dos solos pelos derramamentos e descargas de resíduos industriais e agrícolas
Destruição da cobertura florestal.
Extinção de espécies
Degradação do solo.

Fonte: Construindo a Agenda 21 no Estado de Pernambuco, Recife 2002.

Portanto, nas sociedades contemporâneas, urge buscar a minimização dos efeitos nocivos a que estão sujeitos os recursos naturais, através do tratamento adequado a que os resíduos devem ser submetidos, sejam estes destinados à disposição no solo ou diretamente nos recursos hídricos, promovendo a conservação do equilíbrio destes ecossistemas ou sendo os mesmos destinados às tecnologias de reciclagem (SILVA, 1998).

Há registro com uso de materiais reciclados na construção civil deste a época do Império Romano. Naquela época, algumas cidades já utilizavam agregados de tijolos britados (Grun, 1935 apud Levy, 1997).

A reciclagem de resíduos de construção e demolição como material de construção civil, iniciada na Europa após a segunda guerra mundial, encontra-se

no Brasil muito atrasada, apesar da escassez de agregados e área de aterros nas grandes regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90% recentemente, como é o caso da Holanda (ZWAN, 1997; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000), que já discute a certificação do produto (HENDRICKS, 1994).

Segundo BERNSTEIN (1996), uma pesquisa realizada nos Estados Unidos pela Civil Engineering Research Foundation (CERF) para verificar as tendências primordiais para o futuro da construção civil, apontou a questão ambiental como a segunda tendência para o futuro.

Existe cada vez mais uma constante busca, por parte do setor da construção civil, ao desenvolvimento de suas atividades aliada a preservação do meio ambiente, com isso garantindo uma qualidade de vida saudável a sociedade, mas como preservar a natureza com aumento cada vez maior do consumo dos recursos naturais por parte do setor industrial? Atualmente uma das alternativas mais viáveis do ponto de vista ambiental é a reciclagem desses recursos.

A construção civil é uma grande geradora de empregos e grande consumidora de recursos naturais, bem como, consumidora de bens gerados por outras indústrias e apresentado um notável peso na economia, com isso apresentando significativo impacto ambiental. SJÖSTRÖM (1996) afirma que de todos os recursos naturais que a sociedade usa, o macro complexo da construção civil consome entre 20% à 50%.

A reciclagem é uma alternativa na diminuição e ou eliminação de uma fonte de despesa, podendo inclusive gerar um adicional na receita da empresa, mas os benefícios mais prováveis são: preservação de recursos naturais; redução de poluição; redução de áreas de despejo; diminuição do consumo de energia para a produção de certos bens (ZORDAN, 1997; ÂNGULO, 1998).

Para o controle da poluição causada por processos industriais, o procedimento mais comum tem sido a adoção de tecnologias de tratamento de despejos, considera-se, assim, uma "prevenção ou minimização da poluição" que

é feita nos próprios processos de fabricação, conhecida como adoção de "práticas limpas" (MARTINS, 1997).

Uma prática limpa pode ser a introdução de um novo processo menos poluidor, ou a recuperação de matéria prima perdida e recirculada na fabricação, ou ainda a valorização de um resíduo que poderá dar origem a um subproduto.

THIENSEN (2001), apresenta um processo de minimização dos efeitos deletérios de resíduos gerados no setor industrial. Para tal, recomenda técnicas de eliminação, redução e controle desses resíduos no próprio local de origem, seguindo uma hierarquia para o gerenciamento adequado do resíduo através de uma ordem decrescente de prioridade, conforme se apresenta no Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Hierarquia de gerenciamento de resíduos.

Eliminação	Completa eliminação de resíduos.
Redução na fonte	Evitar, reduzir ou eliminar o resíduo, geralmente dentro da unidade de produção, através de mudanças no processo ou nos procedimentos industriais.
Reciclagem	É o uso, reuso e reciclagem de resíduos para propósitos originais ou outros propósitos. A utilização de matéria-prima em outro processo, na recuperação de materiais ou na produção de energia.
Tratamento	A destruição, desinfecção e neutralização dos resíduos em substâncias menos nocivas.
Disposição	A liberação de resíduos no ar, água ou solo em formas apropriadas de controle, ou seja, formas seguras para diminuir sua periculosidade. A disposição segura do resíduo no solo envolve a redução de volume, a concentração do lixiviado, o encapsulamento e técnicas de monitoramento.

Fonte: THIENSEN, 2001.

As técnicas de minimização de resíduo baseiam-se em duas categorias, ou seja, reciclagem e a redução/eliminação na fonte. A redução/eliminação de resíduo na fonte depende de boas práticas operacionais ou tecnologias limpas,

tais como: treinamento de pessoal e manutenção preventiva e alteração de caráter técnico, tais medidas geralmente podem ser implantadas de maneira rápida e simples e com baixos investimentos relativos ao ganho de produção e competitividade (ROCCA et al., 1993; FONSECA, 2000; THIENSEN, 2001).

Importa ressaltar que depois de analisadas e cessadas todas as possibilidades de minimização, reutilização e reciclagem dos resíduos apresentada na Tabela 2.2, o gerenciador deve focar a escolha da tecnologia de tratamento ou disposição final que melhor se aplique ao resíduo em questão (AGOSTINI, 2002).

Portanto, devido a crescente preocupação com o meio ambiente, bem como, as cobranças cada vez mais veementes de órgãos governamentais e não governamentais para com as indústrias, devido os resíduos por elas gerados no processo de transformação e também a diminuição crescente dos recursos naturais não renováveis, surgiram nas ultimas décadas, vários trabalhos de doutorado e mestrado, visando o aproveitamento deste resíduo na construção civil. A seguir são citados alguns desses trabalhos realizados no Estado da Paraíba.

FEITOSA (2004) estudou o aproveitamento do resíduo da serragem de granito de indústrias da Paraíba como matéria-prima, incorporada ao agregado miúdo, na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural, com possível uso na construção civil. Para isto foram realizados estudos investigativos sobre traços de referência, incorporando o resíduo da serragem de granito ao agregado miúdo (areia) presente na mistura, nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em relação a massa total da areia. O resultado final da pesquisa mostrou-se altamente viável, pois os blocos produzidos com a incorporação do resíduo da serragem de granito apresentaram resultados compatíveis com os requeridos por normas da ABNT.

LIMA (2003) verificou o comportamento do resíduo gerado no corte de rochas ornamentais como "Filler" nos Concretos Asfálticos Usinados à Quente.

Através de análises entre resultados obtidos a partir de ensaios, Marshall, Penetração e Viscosidade Saybolt Furol, com materiais de uso convencional, como a Cal e o Cimento Portland, e com o uso do resíduo como "Filler", foi inferido que o resíduo, quando associado ao CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) gera um aumento de estabilidade maior que o cimento, sem no entanto, tornar o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) tão rígido quanto a Cal o faz.

NEVES (2002) caracterizou amostras de resíduo de serragem de granito provenientes de indústrias da Paraíba, Ceará e Pernambuco, com provável uso na construção civil. Os resultados de tal pesquisa evidenciaram que os resíduos estudados apresentaram características físicas e mineralógicas adequados para uso como matéria-prima cerâmica alternativa para uso em cerâmica vermelha para fabricação de blocos maciços, blocos furados e telhas e em revestimentos cerâmicos e grés sanitário.

BEZERRA (2002) executou vários traços para produção de bloco vazado de vedação, com a utilização de resíduos de EVA (Etileno Acetato de Vinila), como agregado leve, proveniente da indústria calçadista.

ARAÚJO (2002) utilizou resíduo da serragem de granito para produção de tijolos sílica-cal. Para tanto foram moldados corpos de prova composto de cal com teores variando de 8% a 16%, em intervalos de 2%, mais proporções de areia e serragem granítica prefixados em porcentagens de: 0% a 100% em intervalos de 20%. Após, as diversas análises e ensaios os resultados apontaram a viabilidade da utilização dos resíduos do granito em composições com areias na produção dos tijolos sílica-cal.

NÓBREGA (2002) identificou as principais características do entulho gerado na construção de edificações na cidade de Campina Grande, propondo formas de reciclagem do resíduo.

Portanto a constante busca de soluções cooperadas, envolvendo a comunidade científica e o setor empresarial. O intercâmbio Universidade –

Indústria representa assim, o desenvolvimento de novas tecnologias alternativas, para que uma atividade industrial desempenhe um menor comprometimento ao meio ambiente (IBRAM, 1998).

2.6 - Blocos Vazados de Concreto Simples

Os Blocos Vazados de Concreto Simples podem ser definidos como sendo um elemento de alvenaria cuja seção transversal média útil seja inferior a 75% da seção transversal bruta. (NBR 7173, 1982). Segundo esta mesma norma a seção transversal bruta é definida como a área total da seção transversal do bloco. Conforme citado por MEDEIROS (1993), o surgimento dos blocos de concreto deu-se por volta de 1882 nos Estados Unidos. No Brasil, existem registros da utilização de blocos de concreto por volta de 1940.

Os blocos de concreto são constituídos de cimento, areia e pedrisco; a esta mistura é adicionada água, logo após é colocada em fôrmas e serão prensados e vibrados em máquinas (prensas) especiais. O cimento usado na fabricação deve ser o Portland, sendo permitido o uso de aditivos, desde que não acarretem efeitos prejudiciais devidamente comprovados por ensaios (NBR 7173, 1982).

Os agregados a serem usados na fabricação dos blocos podem ser areia e pedra, ou escórias de alto forno, cinzas volantes, argila expandida ou outros agregados leves que satisfaçam as especificações próprias a cada um desses materiais (NBR 7173, 1982). Porém, com a escassez dos agregados naturais nas regiões das grandes cidades estão se desenvolvendo os chamados agregados artificiais que serão fabricados, de preferência, de resíduos industriais (ALVES, 1978).

No Quadro 2.3 tem-se uma síntese das recomendações das principais características para os agregados destinados à produção de blocos de concreto.

Quadro 2. 3 – Características Recomendadas para Agregados Destinados à Produção de Blocos de Concreto (MEDEIROS, 1993).

Características	Tolerâncias	
	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Granulometria	Atender umas das faixas granulométricas da NBR 7217/87	Atender à faixa granulométrica da NBR 7217/87, indicada para brita zero.
	Módulo de finura variar mais que 0,2 para materiais de mesma origem	Dimensão máxima característica menor ou igual à metade da espessura do molde da prensa
Torrões de argila NBR 7218/87	1,5 %	1,0 %
Impurezas orgânicas NBR 7220/87	300 ppm	---
Material pulverulento NBR 7219/83	5,0 %	1,0 %

Quanto à utilização dos blocos de concreto vazados, destacam-se as seguintes vantagens em relação ao tijolo comum:

- Levantamento de paredes com maior velocidade, devido ao tamanho maior das peças quando comparadas aos tijolos convencionais, o que também permite que as paredes sejam erguidas com alinhamento mais definido;
- As paredes permitem a passagem de tubulações destinadas às instalações elétricas, telefônicas e sanitárias, eliminado o trabalho posterior de cortar as paredes para o embutimento das canalizações;

- Menor espessura dos maciços, economizando área interna e permitindo batentes de portas mais estreitos;
- Maior resistência.

Segundo dados fornecidos pelo Sindicato Nacional das Indústrias de Produtos de Cimento (SINAPROCIM), o setor produtivo de artefatos de cimento é composto por cerca de 2.500 (duas mil e quinhentas) empresas legalmente registradas, que respondem por uma produção mensal de 50 (cinquenta) milhões de peças. O comércio informal também se faz presente através de um número representativo de empresas que trabalham à margem da norma. Esse número, segundo estimativa do sindicato, encontra-se em torno de 1.000(mil) fornecedores que, por não pagarem impostos, comercializam produtos financeiramente mais atrativos.

Segundo o SINAPROCIM, o principal problema que o setor enfrenta é a incidência da não conformidade, praticada intencionalmente, não só por fabricantes, mas também pelas empreiteiras que fabricam seus próprios blocos dentro dos canteiros de obras, não respeitando critérios básicos que garantam a mínima eficiência do produto como, por exemplo, o tempo de "cura", ou secagem, do cimento usado na fabricação do produto.

A "cura" é definida como um conjunto de medidas que visa evitar a evaporação rápida (prematura) da água de amassamento antes que ocorra todo o processo de hidratação do cimento. Processo este de fundamental importância na resistência e durabilidade de um artefato de concreto.

Há diversas maneiras da cura ser realizada no concreto, tais como: lançamento de aditivos químico sobre o concreto após sua execução; colocação de sacos de areia saturada sobre o concreto e molhagem constante do concreto.

Contudo, na cura de blocos de concreto usualmente são utilizadas a cura em câmara a vapor; a cura em autoclaves e a cura natural ou ao ar livre.

A cura natural é a mais econômica do ponto de vista financeiro e a mais utilizada quando não há nenhuma necessidade especial a ser atingida. No processo de cura natural é imprescindível que os blocos sejam abrigados da luz direta do sol e ventilação e sejam mantidos úmidos por um período mínimo de sete dias (TANGO, 1984; MEDEIROS, 1993).

Os principais pólos produtores brasileiros de artefatos de cimento são: São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Bahia, Minas Gerais e Pernambuco. Para se ter uma idéia da representatividade desses estados, apenas a produção do Estado de São Paulo corresponde a cerca de 60% (sessenta por cento) da produção nacional, empregando cerca de 70 mil trabalhadores no segmento e com faturamento que, em 1998, ultrapassou 1 bilhão de reais.

Na Figura 2.7, pode-se visualizar a estratificação da produção nacional de blocos de concreto em termos das características técnicas do produto e, conseqüentemente, ao fim a que se destina na construção. Através deste gráfico fica evidente a importância quantitativa da produção de blocos de concreto simples sem função estrutural.

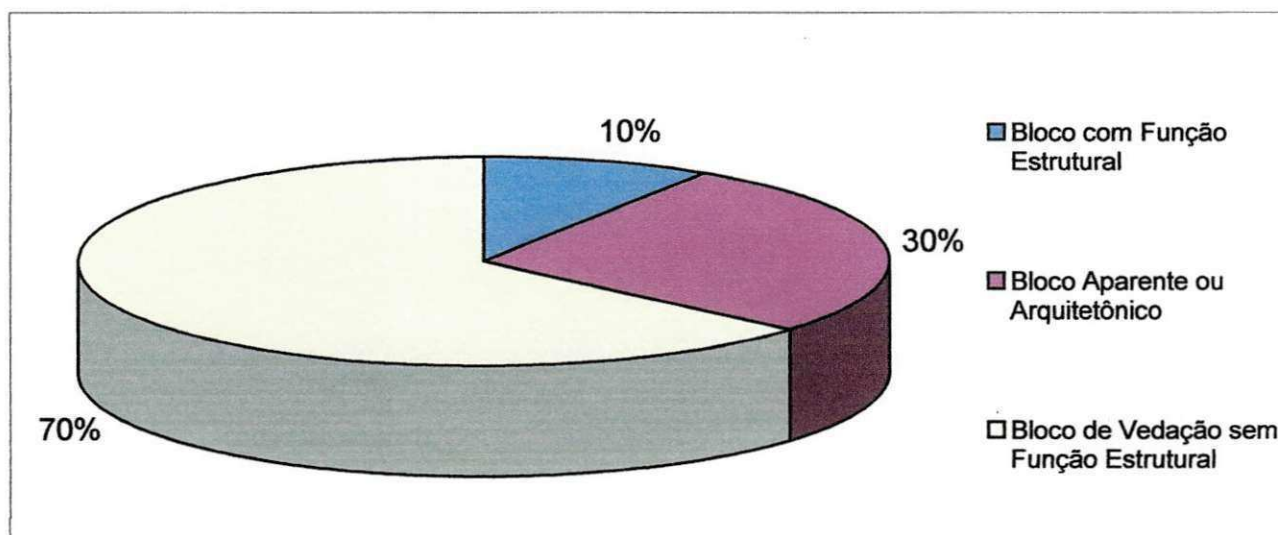


Figura 2.7 – Estratificação da Produção Nacional de Blocos de Concreto (SINAPROCIM, 2004).

O Quadro 2.4 mostra as principais propriedades requeridas sobre o concreto para blocos no estado endurecido.

Quadro 2.4 – Propriedades do Concreto para Blocos no Estado Endurecido (TANGO, 1984).

Propriedades	Método de Ensaio	Importâncias
Resistência à compressão	NBR 7184	Relação íntima com a capacidade da parede; Ligado às quebras, transporte e manuseio.
Absorção d'água	NBR 12118	Relacionados com a permeabilidade da parede à águas de chuvas e à durabilidade dos blocos.
Umidade	NBR 12118	Relacionado à capacidade de aderência dos blocos à argamassa de revestimento no estado fresco.
Capilaridade	RILEM (Adaptação)	Relacionada com a infiltração de água por ascensão capilar.
Retração por secagem	NBR 12117	Relacionada à possibilidade de fissuração em paredes, quando do uso de traços ricos em cimento ou água, estando o concreto com idade relativamente baixa.

Normalmente, as exigências têm-se referido à resistência à compressão e à absorção d'água (NBR 7173, 1982). A busca por maior resistência, em termos gerais, implica na redução dos valores de absorção de água. Com relação às demais propriedades devem-se avaliar isoladamente as especificações requeridas a cada aplicação. No Brasil são fabricados vários tipos de blocos, que se diferenciam pelas cores, formatos e dimensões. A Figura 2.8 mostra os modelos mais comuns.

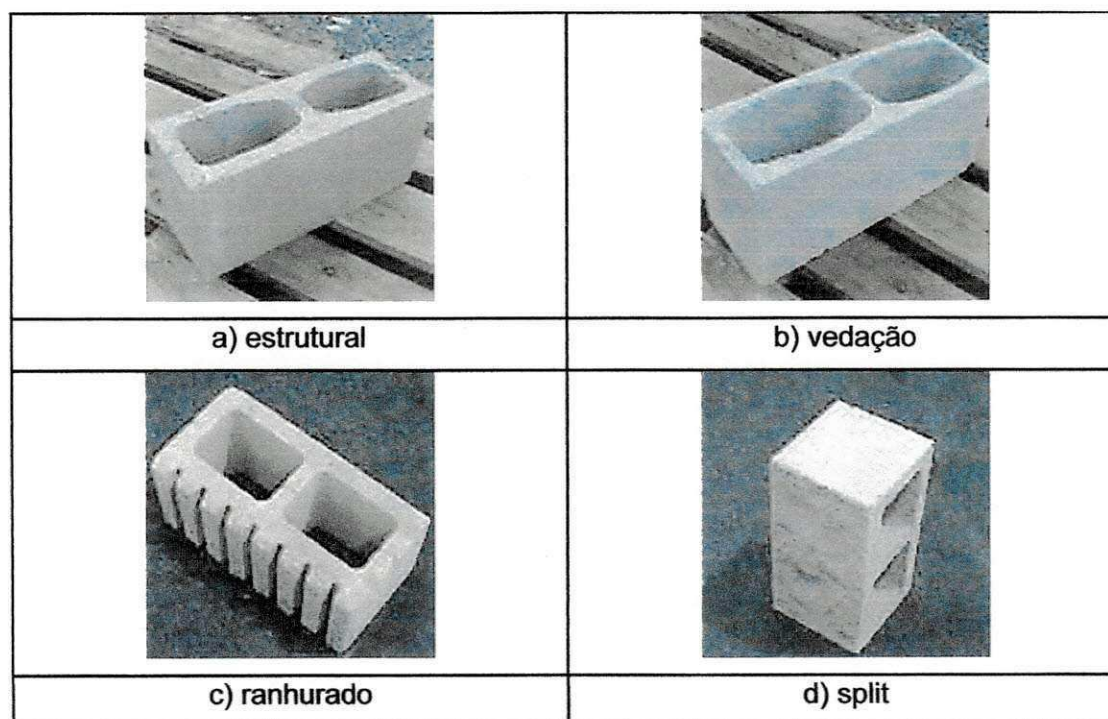


FIGURA 2.8 – Alguns modelos de blocos fabricados no Brasil

É importante ressaltar que os blocos devem ser homogêneos, compactos e com arestas vivas, não apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento, resistência e durabilidade ou o acabamento em aplicações aparentes, sem revestimento. Se destinados a receber revestimento, devem ter a superfície suficientemente áspera para garantir uma boa aderência. Para tanto, no processo de fabricação deve-se ter: mistura homogênea, prensagem adequada, secagem e cura controlada.

2.7 – Considerações Finais Sobre a Revisão Bibliográfica

Com o advento do controle do fogo pela espécie humana, a interação desta com a natureza assumiu características próprias cada vez mais distintas. A partir da Revolução Industrial o homem passou a intervir na natureza de maneira colossal e cada vez mais esta intervenção aumenta, culminando às vezes em verdadeiras catástrofes ambientais. Com o início do capitalismo em que prevalece a lógica do processo de acumulação de capital e que se caracteriza pela criação incessante de novas necessidades de consumo, o uso dos recursos, tanto humanos como naturais, passou a ter quase nenhum controle social, dando origem a exploração desenfreada dos recursos naturais, com isso, aumentando a diminuição destes recursos, tanto os ditos renováveis como os não renováveis.

A construção civil difere de outras indústrias, a maioria dos materiais utilizados são de composição e produção simples – especialmente de componentes que fazem uso do cimento Portland. Por outro lado, a cadeia produtiva da construção civil, apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas, sendo a reciclagem uma alternativa para amenizar o problema ambiental, nos centros urbanos e rurais. Contudo, o uso de qualquer material reciclado requer pesquisas criteriosas para se avaliar o grau de toxicidade deste novo produto.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais, procedência e métodos de ensaios utilizados na pesquisa. Porém, os métodos de ensaios constante nas normas da ABNT serão apenas citados, enquanto que os demais serão descritos. Os resultados de todos os ensaios serão apresentados no capítulo 4.

3.1 - Materiais

Cimento – Foi utilizado o cimento portland tipo CII F – 32, da fábrica de cimento POTY S/A localizada no município de Caaporã – PB, acondicionado em sacos de papel “Kraft”, com 50 Kg de material.

Agregado graúdo - Foi utilizado uma brita granítica denominada comercialmente de (brita “0”), fornecido pela pedreira BRITEX, localizada na BR – 230 km 21, na região de Campina Grande – PB. A brita depois de adquirida, foi colocada sobre uma lona plástica e em seguida coberta para evitar possíveis contaminações.

Agregado miúdo – Foi utilizada uma areia proveniente do rio Paraíba, localizado no município de Barra de Santana – PB. A mesma, após adquirida foi colocada sobre uma lona plástica e em seguida coberta para evitar possíveis contaminações.

Água – Foi utilizada a água fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba (CAGEPA), a mesma água utilizada no abastecimento da cidade de Campina Grande-PB.

Resíduo de Caulim – Foi utilizado na pesquisa, um resíduo resultante do beneficiamento de caulim primário, cedido pela Caulisa Indústria S/A, localizada no município de Juazeirinho – PB. O resíduo de caulim estava acondicionado em sacos de plástico com aproximadamente 30 Kg de resíduo por saco. O mesmo foi destorroado e posto a secar em estufa a 100 °C por um período de 24 horas e em seguida após resfriamento na temperatura ambiente, foi passado na peneira de abertura de malha 4,8mm sendo em guardado em tanques de concreto com tampa.

3.2 – Métodos

A Figura 3.1 mostra o fluxograma com as etapas dos ensaios de caracterização dos materiais utilizados neste trabalho.

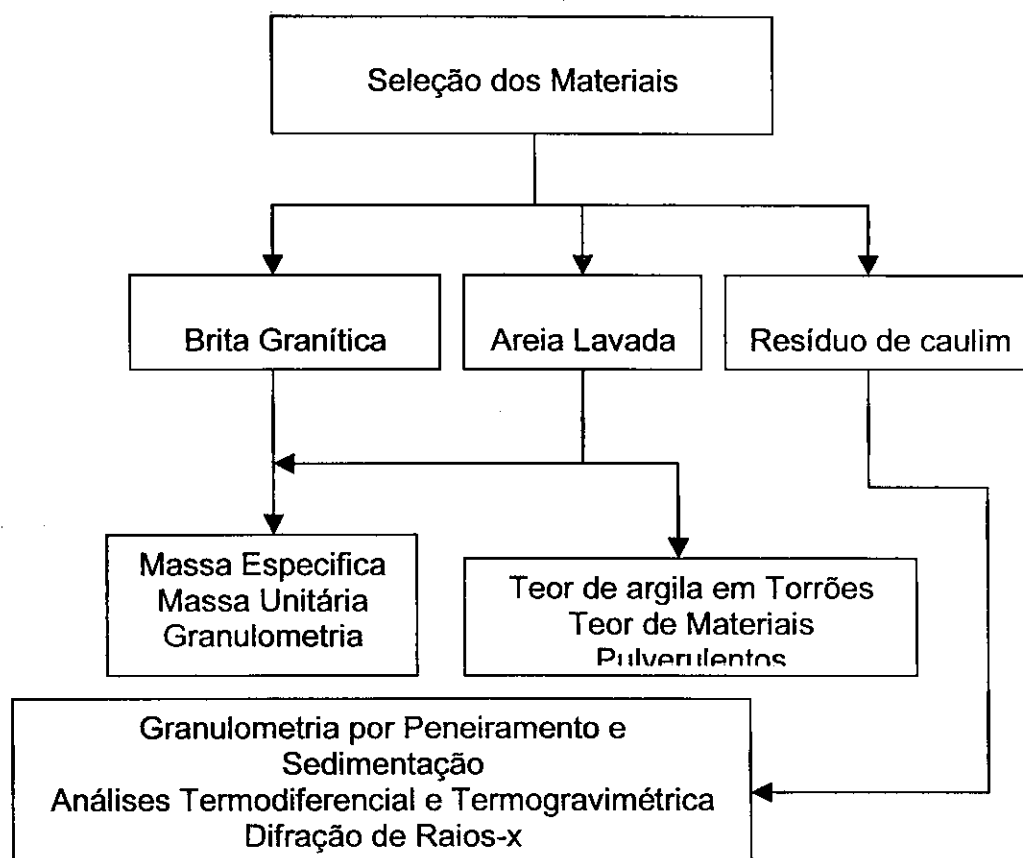


Figura 3.1 – Fluxograma dos ensaios realizados na caracterização dos materiais.

3.2.1 – Caracterização Física

Os ensaios realizados no cimento foram fornecidos pelo fabricante, os resultados são apresentados nos Quadros 3.1 e 3.2, e sua comparação com os limites admitidos por normas da ABNT.

Quadro 3.1 – Características Físicas do Cimento CP II F – 32 Utilizado.

ENSAIO	NBR Nº	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 11578/91
Área Específica (Blaine) (cm ² /g)	7224/96	3150	≥ 2600
Massa Específica (g/cm ³)	6474/84	3,08	não aplicável
Densidade Aparente (g/cm ³)	-	1,2	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200) (%)	11579/91	2,0	≤ 12,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325) (%)	11579/91	14,5	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal (%)	11580/91	26,7	não aplicável
Início de Pega (h:min)	11581/91	02:45	≥ 1
Fim de Pega (h:min)	11581/91	03:25	≤ 10 (facultativo)
Expansibilidade de Le Chatelier – a Quente (h: min)	11582/91	0,50	≤ 5

FONTE: CIMENTO POTY S/A – Unidade Caaporã.

Quadro 3.2 – Características Químicas do Cimento CP II F – 32 Utilizado.

ENSAIO	NBR Nº	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 11578/91
Perda ao Fogo – PF (%)	5743/89	4,09	≤ 6,5
Óxido de Magnésio – MgO (%)	9203/85	2,54	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico – SO ₃ (%)	5745/89	3,05	≤ 4,0
Resíduo Insolúvel – RI (%)	5744/89	1,05	≤ 2,5
Equivalente Alcalino (%)	-	0,90	não aplicável
Óxido de Cálcio Livre – CaO (%)	7227/90	1,18	não aplicável

FONTE: CIMENTO POTY S/A – Unidade Caaporã.

3.2.1.1 - Análise Granulométrica

A composição granulométrica do agregado miúdo e graúdo foi determinada através de uma série de peneiras, denominada normal. Juntamente com a série normal foi utilizada uma peneira intermediária de abertura de malha 6,3 mm com a finalidade de auxiliar a fixação do diâmetro máximo, mas não entrando no cálculo do módulo de finura, ensaio este, realizado de acordo com a norma da ABNT NBR 7217/1982. A análise granulométrica do resíduo foi determinada por uma combinação de sedimentação e peneiramento de acordo com a norma da ABNT NBR 7181 (1984).

3.2.1.2 - Massa Específica

A massa específica do agregado miúdo foi determinada por meio do frasco de "Chapman" conforme descrito na norma da ABNT NBR 9776 (1987). A massa específica do agregado graúdo foi determinada pela balança hidrostática conforme prescreve a norma da ABNT NBR 9937 (1987) e a massa específica do resíduo foi determinada de acordo com a norma da ABNT NBR 6508 (1984).

3.2.1.3 - Massa Unitária em Estado Solto

A massa unitária em estado solto da areia e da brita foi determinada usando um recipiente metálico de forma paralelepípedo, e determinada como a média obtida em três determinações individuais, segundo a norma ABNT NBR 7251 (1982).

3.2.1.4 - Massa Unitária em Estado Compactado Seco

É o quociente da massa do agregado lançado e compactado. Para a sua determinação foi utilizado um recipiente metálico cilíndrico e o resultado final para

o agregado miúdo e graúdo foi a média de três resultados individuais conforme determinação da norma da ABNT NBR 7810 (1983).

3.2.1.5 - Teor de Argilas em Torrões

As amostras foram secas em estufa a 100 °C, até constância de massa. Em seguida foi pesado 0,2 Kg do agregado miúdo e 1,0 Kg do agregado graúdo de acordo com o método descrito na norma da ABNT NBR 7218 (1987).

3.2.1.6 - Teor de Materiais Pulverulentos

As amostras de areia e brita foram submetidas à determinação do teor de materiais pulverulentos, de acordo com as recomendações da norma da ABNT NBR 7219 (1987).

3.2.2 - Caracterização Mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo de caulim foi realizada através de análise térmica (ATD), análise termogravimétrica (ATG), difração de raios – X (DRX) e análise química.

3.2.2.1 - Análise Termodiferencial e Termogravimétrica

São utilizadas para determinar as faixas de temperaturas onde ocorrem transformações endo e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem perdas de massas. As curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica foram obtidas através de um sistema de Análises Térmicas Modelo RB- 3000 da BP Engenharia, com velocidade de aquecimento 12,5°C/min. A temperatura máxima para ATD e ATG foi 1000°C e o padrão utilizado na ATD foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

3.2.2.2 - Difração de Raios-X

Ensaio usado para se determinar a composição mineralógica do constituinte químico do material. Foi utilizado um difratômetro, operando com radiação K-alfa de cobre ($1,5918 \text{ \AA}$) obtida com 40 mA e 40 kV, com varredura a $0,02^\circ$ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo.

3.2.2.3 - Análise Química

A amostra de resíduo de caulim foi submetida por via seca na peneira nº 200 (0,074 mm). Do que passou foi retirado cerca de 20 gramas para o ensaio de análise química, o qual foi acondicionado num saco plástico. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Análises Mineraias/LAM do CCT/PRAI/UFMG. Foram realizadas as seguintes determinações: perda ao rubro(PR), óxido de silício(SiO_2), resíduo insolúvel(RI), óxido de ferro(Fe_2O_3), óxido de alumínio(Al_2O_3), óxido de cálcio(CaO), óxido de magnésio(MgO), óxido de sódio(Na_2O) e óxido de potássio(K_2O).

3.2.3 – Ensaio Tecnológicos

3.2.3.1 – Produção dos Blocos

Para o início da produção de blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural com adição de resíduo de caulim, foram tomados como base e referência os traços convencionais 1:4; 1:6 e 1:8 por serem utilizados normalmente na construção civil, bem como as relações água/cimento. Foram moldados inicialmente três blocos para cada traço com fator água cimento diferentes, isto é, para o traço 1:4 fatores água cimento de 0,34 – 0,37 e 0,40, para o traço 1:6 fatores água cimento de 0,44 – 0,49 e 0,55, e para o traço 1:8 fatores água cimento de 0,64 – 0,67 e 0,70, ou seja, um fator água cimento: intermediário,

um inferior e outro superior, sendo rompidos com 7 dias de cura para verificação de qual desses fatores determinaria maior resistência à compressão simples nessa idade. O mesmo procedimento citado acima foi feito para os traços com incorporação de resíduo de caulim

Após a análise dos resultados do fator água cimento e respectivas resistências tanto para os traços convencionais e com incorporação do resíduo, foram considerado como fator água cimento ideal o que apresentou maior valor de resistência.

3.2.3.2 - Estudo dos Traços

Inicialmente foram moldados 18 blocos de concreto de cada traço convencional de referência e com incorporação de resíduo, sendo seis blocos para cada tempo de cura a ser avaliado (7, 28 e 63 dias). A idade de 28 dias é considerada como padrão determinada por norma da ABNT (NBR 7184/91) para a verificação da resistência à compressão. Já a idade de 7 dias tem por objetivo uma verificação prévia para saber se a resistência da idade padrão(28 dias) tem uma probabilidade mínima de ser atingida e a idade de 63 dias tem por objetivo a verificação da evolução da resistência com o tempo. É de suma importância ressaltar que os critérios observados da viabilidade ou não do uso do resíduo de caulim na fabricação de blocos vazados de concreto simples para alvenaria foram: resistência, absorção e o fator econômico (menor consumo de cimento).

3.2.3.3 - Moldagem dos Blocos de Concreto

A moldagem dos blocos foi feita em uma máquina semi-automática da marca Atlântica Maq. , máquina esta já devidamente aferida para produzir blocos nas seguintes dimensões:

- ❖ Altura: 190 mm;
- ❖ Largura: 90 mm;
- ❖ Comprimento: 390 mm.

De maneira sucinta, o processo de confecção do traço e moldagem dos blocos foi o seguinte:

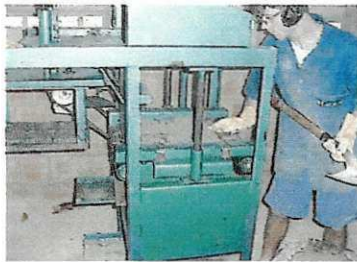
1) Traço convencional e/ou com incorporação de resíduo:

- ❖ Com a betoneira já em funcionamento, os materiais foram colocados na seguinte seqüência: agregado graúdo, cimento, parte da água já devidamente medida, agregado miúdo e/ ou resíduo e o restante da água até completar a homogeneização dos materiais.

2) Moldagem dos blocos:

- ❖ A parte interna da máquina (molde) foi devidamente untada com óleo mineral;
- ❖ Um molde de madeira foi untado com óleo mineral e colocado sob o molde da máquina;
- ❖ O molde da máquina foi preenchido com o concreto, com o auxílio de uma pá e colher de pedreiro;
- ❖ A máquina foi ligada e, esperou-se alguns segundos para o devido processo de adensamento dos blocos. Em seguida desligou-se a

máquina, retirando-se o molde de madeira com os blocos e o levando imediatamente para a câmara úmida, para um período de 24 horas de cura. A Figura 3.2 apresenta as etapas de moldagem dos blocos.



a)



b)



c)



d)



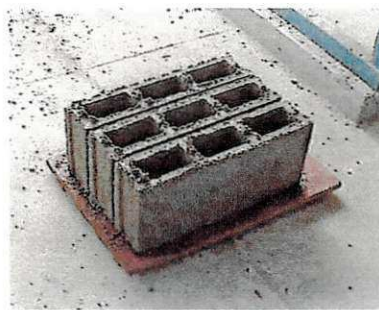
e)



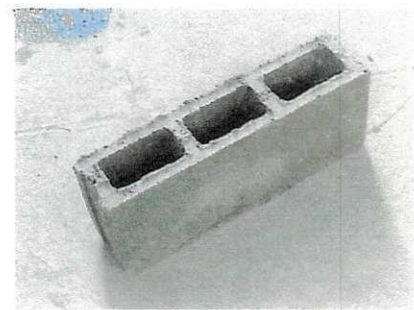
f)



g)



h)



i)

Figura 3.2 – Etapas do Processo de Moldagem dos Blocos

3.2.3.4 - Cura dos Blocos

Após um período de 24 hora de cura numa câmara úmida, os blocos foram colocados imediatamente submersos em um tanque para completar o processo de cura para as idades de 7, 28 e 63 dias. A Figura 3.3 mostra detalhes da câmara úmida e a Figura 3.4 o tanque de imersão.



Figura 3.3 – Detalhe da câmara úmida.

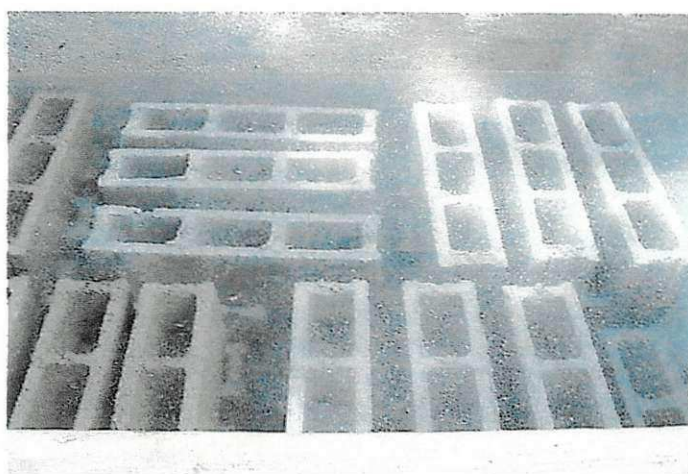


Figura 3.4 – Detalhe do tanque de imersão.

3.2.3.5 - Ensaio de Resistência à Compressão Simples

Antes de ser aplicada a carga para o rompimento, a face de trabalho dos blocos foram regularizadas com uma pasta de cimento, conforme a norma NBR 7184/91 da ABNT.

Após a regularização, os blocos foram rompidos numa prensa elétrica “Losenhausen” com carga aplicada na direção do esforço que o bloco suporta durante o seu emprego na alvenaria e com velocidade controlada manualmente.

A resistência à compressão dos blocos foi obtida pela divisão da carga máxima, suportada pelo bloco durante o ensaio, pela área bruta, isto é, valor médio das dimensões totais da seção de trabalho do bloco, sem desconto das áreas de furos ou reentrâncias. Todo o processo para a determinação da resistência à compressão simples foi realizado para os tempos de cura a 7, 28 e 63 dias, conforme procedimento descrito na NBR 7184/91.

O valor da resistência expressa em MPa (Mega-Pascal), foi calculada através da fórmula:

$$F_c = F / (10 \cdot A), \text{ onde temos:}$$

F_c = resistência à compressão simples, em MPa;

F = carga de rompimento, em Kgf;

A = área da seção transversal bruta do bloco, em cm^2 .

A Figura 3.5 apresenta a máquina utilizada no rompimento dos blocos de concreto.

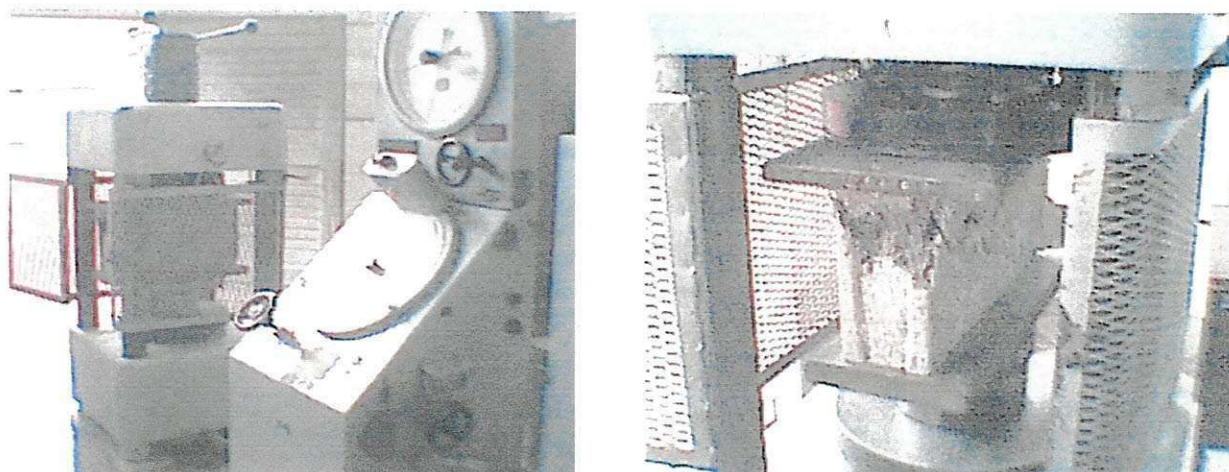


Figura 3.5 – Prensa Utilizada no ensaio de Resistência a Compressão Simples.

3.2.3.6 - Determinação da Absorção de Água

Para a determinação da absorção de água por imersão, foram utilizados pedaços do bloco original, conforme a norma da ABNT, NBR 12118/91, após 28 dias de cura. Os pedaços de blocos foram postos em estufa à temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ por um período mínimo de 24 horas até constância de massa. Em seguida, os blocos foram pesado e seu peso anotado como M_s . Após resfriar naturalmente, foram imersos em água por um período de 24 horas e em seguida, drenados sobre uma tela de 9,5 mm de abertura de malha por um período de 1 minuto, posteriormente, foi removida a água superficial visível com um pano seco. Os blocos foram pesados e sua massa foi anotada como M_{sat} . O valor da absorção, expresso em porcentagem de cada bloco, foi à média de três determinações individuais calculado pela fórmula:

$$A_b = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) * 100, \text{ onde :}$$

A_b = absorção em %; M_s = massa da amostra seca na estufa em Kg e

M_{sat} = massa da amostra saturada superfície seca em Kg.

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física e mineralógica da matéria - prima alternativa na forma de resíduo proveniente da indústria beneficiadora de caulim e das matérias-primas convencionais agregado graúdo e miúdo. Na caracterização física foram determinadas a composição granulométrica, massa específica e massa unitária. Na caracterização mineralógica, foram determinadas a composição química, análise térmica diferencial e termogravimétrica e difração de raios - X. Nos ensaios tecnológicos foram analisados fator água/cimento para vários traços de blocos convencionais e alternativos, como também o comportamento mecânico.

4.1 - Caracterização dos Materiais

4.1.1 - Cimento

As características físicas e químicas do cimento CP II F – 32, utilizado na pesquisa foram apresentadas nas Tabela 3.1 e 3.2 do capítulo anterior, uma vez que os ensaios foram fornecidos pelo fabricante. Observando os resultados apresentados nestas Tabelas, verifica-se que o cimento atende a todas as especificações das normas externas aplicáveis (ABNT) e, portanto, encontra-se adequado ao uso.

4.1.2 - Agregado Miúdo (areia)

O Quadro 4.1 apresenta os valores dos ensaios de caracterização física da areia utilizada na pesquisa e o Quadro 4.2 apresenta a sua composição granulométrica e na Figura 4.1 a curva com seu enquadramento em uma zona granulométrica.

Quadro 4.1 – Características Físicas do Agregado Miúdo (areia)

Características	Resultado
Massa Específica	2604 kg/m ³
Massa Unitária – estado solto	1543 kg/m ³
Massa Unitária – estado compactado	1596 kg/m ³
Dimensão Máxima	4,8 mm
Módulo de finura	3,03
Teor de argila em torrões	0,20%
Teor de materiais pulverulentos	0,16%

Observando-se os resultados contidos no Quadro 4.1, verifica-se que o agregado miúdo (areia), apresenta uma porcentagem de 0,20 de torrões de argilas e de 0,16 de material pulverulento, logo não excedendo os limites máximos

estabelecidos pela norma ABNT NBR 7211/83 que são de 1,5% para torrões de argilas e 5% para materiais pulverulentos. Portanto atende as exigências estabelecida na norma da ABNT NBR 7211/1983.

Quadro 4.2 - Composição Granulométrica do Agregado Miúdo (Areia).

Peneira ABNT (mm)	% Acumulada Retida	% Que passa Amostra total
9,5	0	100,00
6,3	0,17	99,83
4,8	1,39	98,61
2,4	10,16	89,84
1,2	31,23	68,77
0,6	66,11	33,89
0,3	94,68	5,32
0,15	99,24	0,76
Resto	100,00	0,00

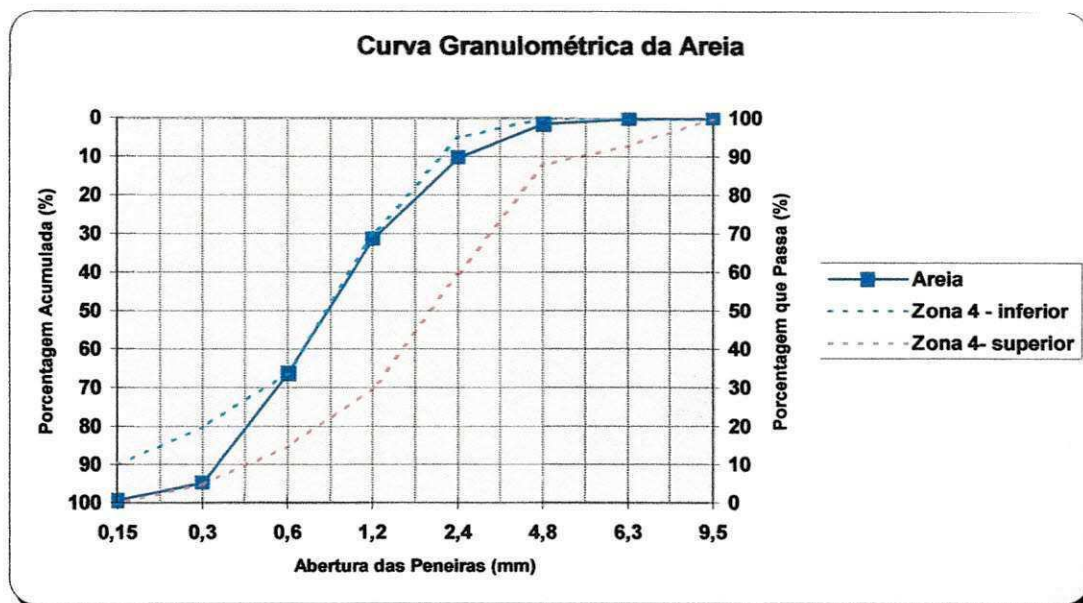


Figura 4.1 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo e seu Enquadramento na Zona de Classificação Estabelecida pela NBR 7211/83.

Analisando-se as porcentagens, em peso, retidas acumuladas nas peneiras da ABNT, conforme apresentada no Quadro 4.2, e Figura 4.1, verifica-se que o agregado miúdo enquadra-se na zona 4 (grossa) da NBR 7211/1983 da ABNT. Portanto, esta areia é apropriada para uso em artefatos de concreto.

4.1.3 - Agregado Graúdo (brita)

O Quadro 4.3 apresenta as características físicas da brita granítica utilizada na pesquisa e, o Quadro 4.4 a distribuição dos tamanhos de grãos e na Figura 4.2 a curva granulométrica.

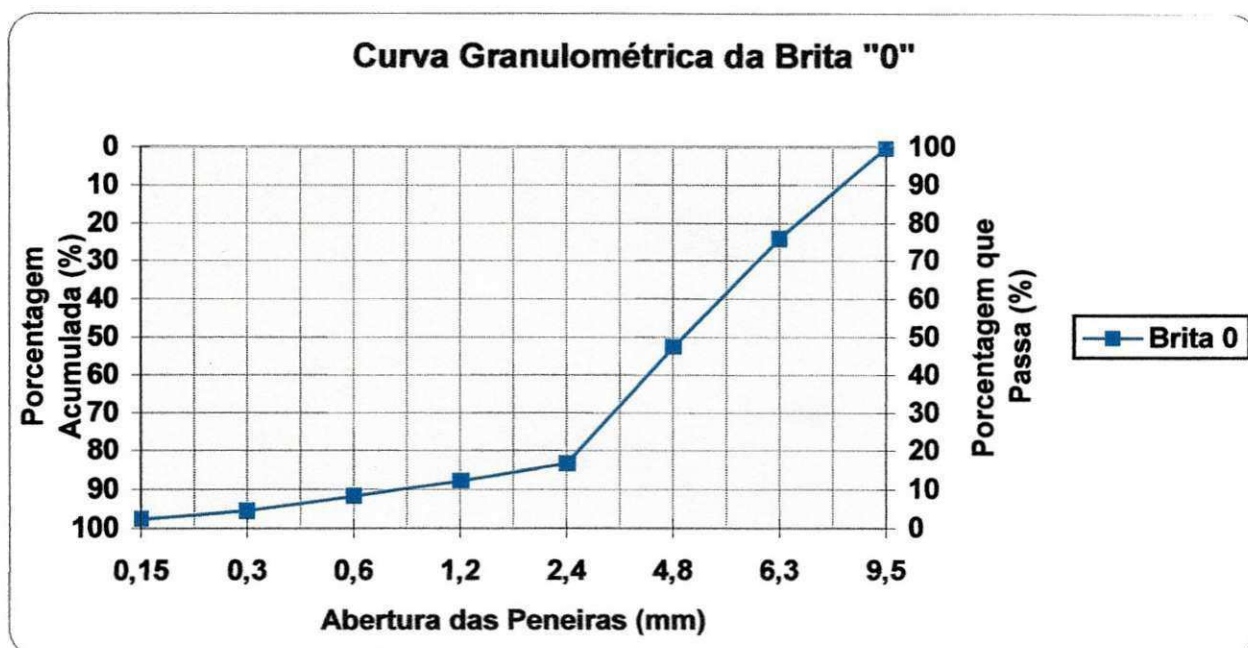
Quadro 4.3 – Características Físicas do Agregado Graúdo.

Características	Resultado
Massa específica seca	2654 kg/m ³
Massa específica saturada superfície seca	2677 kg/m ³
Absorção	0,82%
Massa Unitária – estado solto	1553 kg/m ³
Massa Unitária – estado compactado	1581kg/m ³
Dimensão Máxima	9,5 mm
Módulo de finura	5,08

Observando os resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo no Quadro 4.3, verifica-se que o agregado atende as exigências requeridas pela norma da ABNT NBR 7211/83 – Agregado para concreto, portanto pode ser utilizado na fabricação de artefatos de concreto.

Quadro 4.4– Composição Granulométrica do Agregado Graúdo.

Peneira ABNT (mm)	% Acumulada Retida	% Que passa Amostra total
9,5	0,08	99,92
6,3	23,82	76,18
4,8	52,48	47,52
2,4	83,08	16,92
1,2	87,65	12,35
0,6	91,58	8,42
0,3	95,35	4,65
0,15	97,42	2,58
Resto	100,00	0,00

**Figura 4.2 – Curva Granulométrica do Agregado Graúdo.**

Através da análise do Quadro 4.4 e da Figura 4.2, verifica-se que o agregado graúdo apresenta 52,48% em peso de partículas com diâmetro superior a 4,8mm, bem como o mesmo atende a todas as características estabelecidas na norma da ABNT NBR 7211/83.

4.1.4 - Resíduo do Caulim

A Figura 4.3 apresenta a curva de distribuição dos tamanhos das partículas por peneiramento e sedimentação do resíduo.

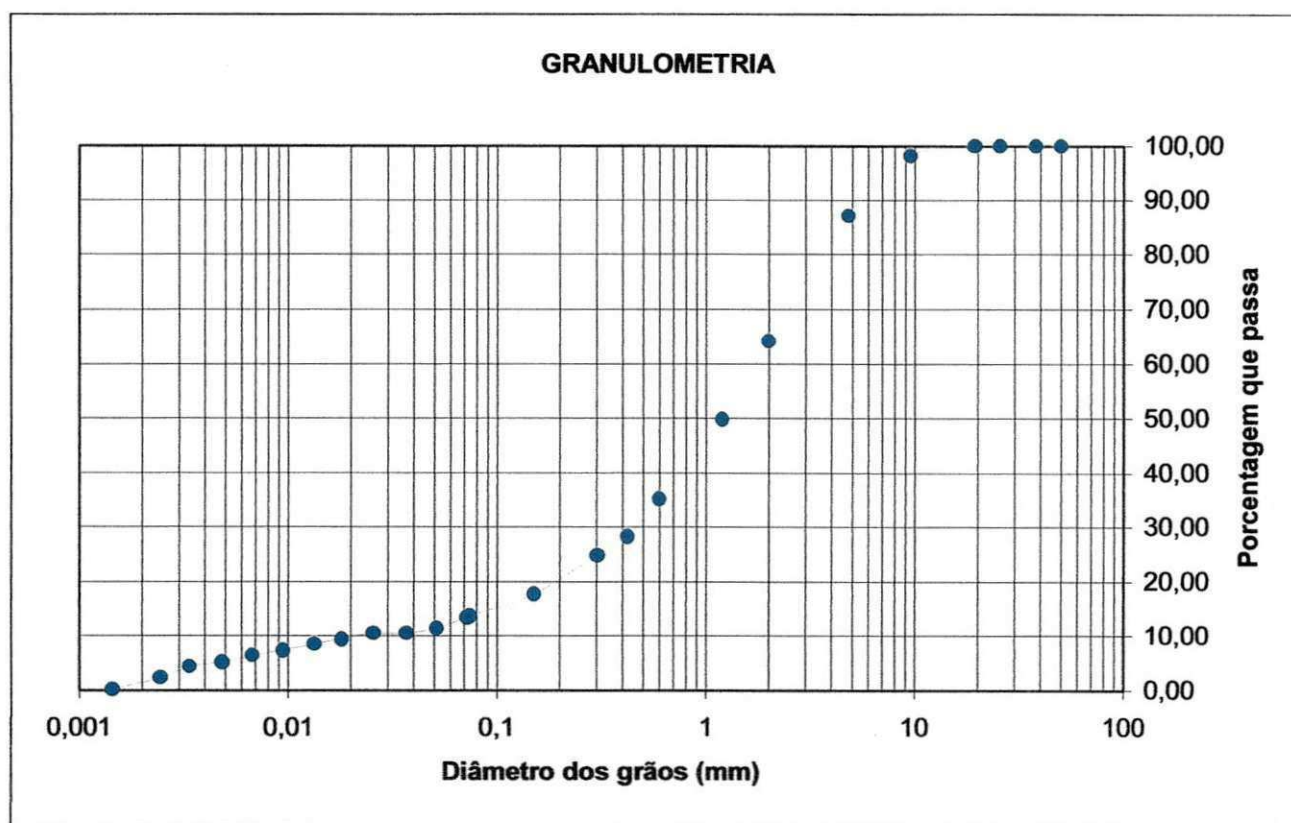


Figura 4.3 – Curva Granulométrica do Resíduo.

Através da análise da curva granulométrica do resíduo, observa-se uma distribuição contínua dos grãos em toda a faixa granulométrica, apresentando 87,1% das partículas com diâmetro abaixo de 4,8 mm e 13,8% menor que 0,074 mm. Comparando os limites granulométricos desse material com os limites

granulométricos do agregado miúdo estabelecida na norma ABNT NBR 7211/83, verifica-se que este material não se enquadra em nenhuma das zonas.

4.1.4.1 - Análise Química

O Quadro 4.5 apresenta o resultado da análise química efetuada no resíduo.

Quadro 4.5 – Composição Química do Resíduo de Caulim

PF (%)	SiO ₂ (%)	RI (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
10,93	49,52	0,50	0,40	36,80	Traços	Traços	0,14	1050

Analisando o Quadro 4.5, verifica-se que o resíduo de caulim apresenta em sua composição elevada percentagem de 49,52% de óxido de silício e 36,8% de óxido de alumínio. Com relação ao elevado teor de SiO₂ presente no resíduo podemos concluir que este provavelmente poderá se aplicado em traço para fabricação de blocos sem função estrutural substituindo parte do agregado miúdo.

4.1.4.2 - Difração de Raios-X

A Figura 4.4 mostra a análise de difração de raios-X, realizado no resíduo de caulim.

Analisando o difratograma observa-se a presença de caulinita, caracterizada pelas distancias interplanares de 7,07 e 3,56 Å, e pequena quantidade de mica, caracterizada por 10,04 e 4,97 Å e quartzo (SiO₂) caracterizado pela distancia interplanares 3,34 Å. Este resultado confirma a presença de quartzo no resíduo, conforme detectado também no ensaio de análise química.

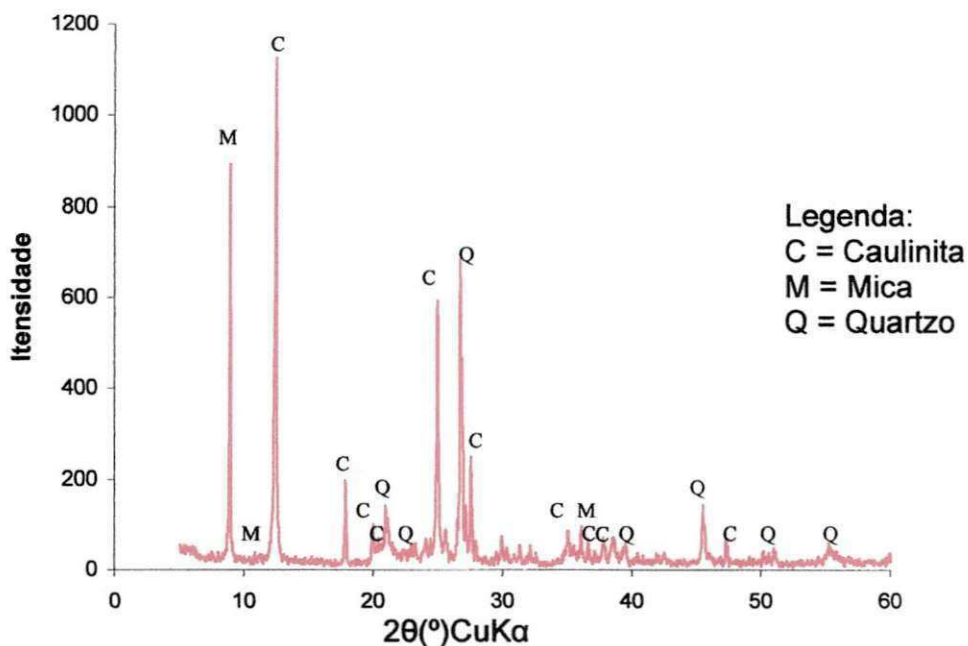


Figura 4.4 – Difratograma do Resíduo de Caulim

4.1.4.3 - Análise Termodiferencial e Termogravimétrica do Resíduo

A Figura 4.5 apresenta as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de caulim.

Analisando as curvas de ATD na Figura 4.5, verifica-se que o resíduo de caulim apresenta pico endotérmico de pequena intensidade a 100 °C, o que caracteriza a presença de água livre; pico endotérmico de grande intensidade a 600 °C, correspondente à presença de hidroxila e a transformação de quartzo alfa e quartzo beta, pico exotérmico de grande intensidade a 950 °C, correspondente a nucleação da mulita.

Analisando as curvas de ATG na Figura 4.5, verifica-se perda de massa total de 9,12%, correspondente a perda de água livre e perda de hidroxilas. Comparando esse

resultado com os valores determinados por RAMALHO (2004), verifica-se que o resíduo estudado apresentam curvas termogravimétricas similar.

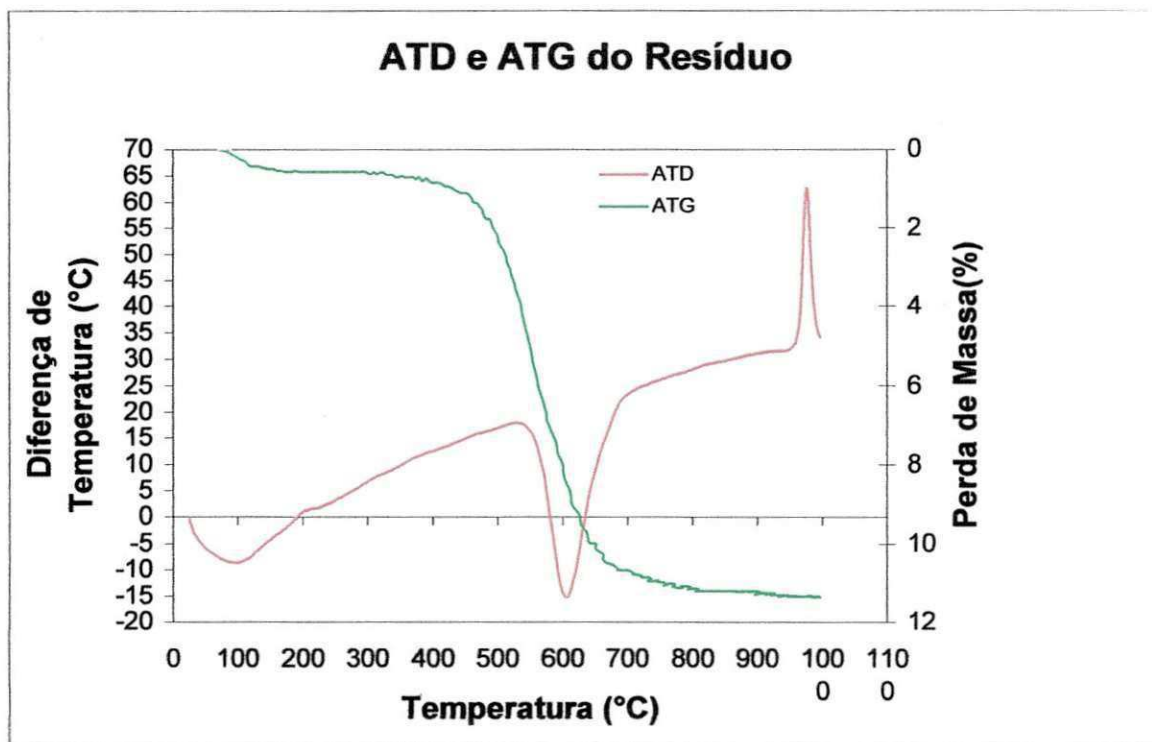


Figura 4.5 – Análise Termodiferencial e Termogravimétrica do Resíduo.

4.2 - Estudo do Potencial de Aplicação do Resíduo de Caulim na Produção de Blocos de Concreto Simples não Estrutural.

No Quadro 4.6, são apresentados os traços convencionais em volume e massa 1:4, 1:6 e 1:8 utilizados para a confecção dos blocos de concreto simples.

É importante ressaltar que a escolha desses traços como referência baseiam-se no trabalho recentemente realizado por FEITOSA (2004) e por apresentarem resultados de resistência à compressão simples e absorção dentro das especificações da NBR 7184/91 e NBR 12118/91, respectivamente.

Os Quadros 4.7, 4.8 e 4.9, apresentam os traços alternativos em volume e massa 1:4, 1:6 e 1:8 com incorporação de 15% e 20% de resíduo de caulim utilizado para a confecção dos blocos.

Quadro 4.6 – Traços de Referência 1:4, 1:6 e 1:8 utilizados na confecção dos Blocos Convencionais de Concreto.

TRAÇOS	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)				MASSA TOTAL SECA*			
MATERIAIS	Aglomerante	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	F.a/cim	Aglomerante	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	F.a/cim
	Cimento	Areia	Brita "0"	Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)	Água (l)
1:4	1	2	2	0,37	12,00	24,00	24,00	4,44
1:6	1	3	3	0,49	8,60	25,80	25,80	4,21
1:8	1	4	4	0,67	6,70	26,80	26,80	4,49

***Massa total seca necessária para moldar 6 blocos de concreto.**

Quadro 4.7 – Traço 1:4 com Incorporação de Resíduo de Caulim.

TRAÇO 1:4	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*				
	% Resíduo incorporado	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo do caulim (Kg)	F.a/cim	Aglomer.	Agregado	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo do caulim (Kg)
	Cimento	Areia	Brita "0"		Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)		Água (l)
15%	1	1,7	2	0,3	0,34	6,00	10,20	12,00	1,800	2,04
	1	1,7	2	0,3	0,37	6,00	10,20	12,00	1,800	2,22
	1	1,7	2	0,3	0,40	6,00	10,20	12,00	1,800	2,40
20%	1	1,6	2	0,4	0,34	6,00	9,60	12,00	2,400	2,04
	1	1,6	2	0,4	0,37	6,00	9,60	12,00	2,400	2,22
	1	1,6	2	0,4	0,40	6,00	9,60	12,00	2,400	2,40

**Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.*

Quadro 4.8 – Traço 1:6 com Incorporação de Resíduo de Caulim.

TRAÇO 1:6	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*				
	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo	F.a/cim	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo	F.a/cim
% Resíduo incorporado	Cimento	Areia	Brita "0"	Resíduo do caulim (Kg)	Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)	Resíduo do caulim (Kg)	Água (l)
15%	1	2,55	3	0,45	0,44	4,30	10,965	12,90	1,935	1,90
	1	2,55	3	0,45	0,49	4,30	10,965	12,90	1,935	2,11
	1	2,55	3	0,45	0,55	4,30	10,965	12,90	1,935	2,36
20%	1	2,40	3	0,60	0,44	4,30	10,320	12,90	2,580	1,90
	1	2,40	3	0,60	0,49	4,30	10,320	12,90	2,580	2,11
	1	2,40	3	0,60	0,55	4,30	10,320	12,90	2,580	2,36

**Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.*

Quadro 4.9 – Traço 1:8 com Incorporação de Resíduo de Caulim.

TRAÇO 1:8	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*				
	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo do caulim (Kg)	F.a/cim	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo do caulim (Kg)	F.a/cim
% Resíduo incorporado	Cimento	Areia	Brita "0"	Resíduo do caulim (Kg)	Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)	Resíduo do caulim (Kg)	Água (l)
15%	1	3,4	4	0,6	0,64	3,35	11,390	13,40	2,010	2,14
	1	3,4	4	0,6	0,67	3,35	11,390	13,40	2,010	2,24
	1	3,4	4	0,6	0,70	3,35	11,390	13,40	2,010	2,34
20%	1	3,2	4	0,8	0,64	3,35	10,720	13,40	2,680	2,14
	1	3,2	4	0,8	0,67	3,35	10,720	13,40	2,680	2,24
	1	3,2	4	0,8	0,70	3,35	10,720	13,40	2,680	2,34

**Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.*

4.2.1 – Verificação da Resistência à Compressão Simples

O Quadro 4.10 apresenta os resultados da resistência à compressão simples dos blocos convencionais nos traços 1:4, 1:6 e 1:8 aos 7 dias de cura, para verificação do teor água/cimento ideal.

Quadro 4.10 – Resistência à Compressão Simples dos blocos convencionais para período de cura de 7 dias.

Traço	Fator A/C	RCS (Mpa) Média	Traço	Fator A/C	RCS (Mpa) Média	Traço	Fator A/C	RCS (Mpa) Média
		7 Dias			7 Dias			7 Dias
1: 4	0,34	3,40	1: 6	0,44	2,07	1: 8	0,64	1,65
	0,37	3,41		0,49	2,38		0,67	2,16
	0,40	3,66		0,55	2,32		0,70	2,04

Analisando o Quadro 4.10, verifica-se que o fatores água/cimento de 0,40, 0,49 e 0,67 foram os que apresentaram a maior resistência média à compressão simples respectivamente para os traços 1:4, 1:6 e 1:8, sendo portanto, os fatores água/cimento considerados ideais para a confecção dos blocos convencionais.

O Quadro 4.11 apresenta os resultados da resistência à compressão simples dos blocos com incorporação de 15% e 20% de resíduo nos traços 1:4, 1:6 e 1:8 aos 7 dias de cura, para verificação do teor água/cimento ideal.

Quadro 4.11 – Resistência à Compressão Simples dos blocos com incorporação de resíduo para período de cura de 7 dias.

Traço	Resíduo (%)	Fator A/C	RCS (MPa) Média	Traço	Resíduo (%)	Fator A/C	RCS (MPa) Média	Traço	Resíduo (%)	Fator A/C	RCS (MPa) Média
			7 Dias				7 Dias				7 Dias
1: 4	15	0,34	2,37	1: 6	15	0,44	1,54	1:8	15	0,64	2,15
		0,37	2,60			0,49	1,77			0,67	2,63
		0,40	2,48			0,55	3,94			0,70	2,94
	20	0,34	1,89		20	0,44	1,80		20	0,64	1,85
		0,37	2,23			0,49	3,01			0,67	2,87
		0,40	2,88			0,55	2,88			0,70	2,75

A partir dos resultados apresentados, no Quadro 4.11, verifica-se que para a incorporação de 15% de resíduo o fator água/cimento de 0,37; 0,55 e 0,70 foram os que apresentaram a maior resistência média à compressão simples respectivamente nos traços 1:4, 1:6 e 1:8. Já para a incorporação de 20% a maiores resistências foram obtidas com o fator água/cimento de 0,40; 0,49 e 0,67. Portanto, estes são os fatores água/cimento considerados ideais.

Os Quadros 4.12, 4.13 e 4.14 apresentam os resultados da resistência à compressão simples de seis corpos de prova para os traços convencionais e

alternativos incorporados com resíduos curado por período de 7, 28 e 63 dias, com fatores água/cimento considerados ideais. Estes valores são considerados sem depuração.

Quadro 4.12 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:4.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)			
		7 dias	28 dias	63 dias	
1:4 – Convencional	B1	3,14	3,99	3,42	
	B2	3,31	7,52	6,55	
	B3	3,08	7,07	3,88	
	B4	4,50	7,13	4,22	
	B5	6,84	2,79	3,14	
	B6	3,42	3,71	5,70	
	Média	4,05	5,37	4,49	
1:4 – Com resíduo	15%	B1	2,28	2,85	2,85
		B2	1,77	3,19	2,79
		B3	2,85	3,53	3,71
		B4	2,51	4,10	3,65
		B5	2,91	2,45	2,28
		B6	3,93	2,91	2,45
		Média	2,71	3,17	2,96
	20%	B1	2,39	2,45	4,28
		B2	2,85	3,93	3,14
		B3	2,85	2,57	4,56
		B4	3,30	5,07	3,88
		B5	3,70	4,56	2,57
		B6	2,90	5,42	4,39
		Média	3,00	4,00	3,80

Observando o Quadro 4.12 verifica-se que os blocos convencionais apresentaram maior resistência à compressão simples em relação aos blocos com resíduo. Comparando os valores dos blocos com 15% e 20% de incorporação de resíduo, verifica-se que para 20% houve um acréscimo na sua resistência. Todos os resultados atende as especificações da Norma da ABNT NBR 7184/91.

Quadro 4.13 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:6.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)			
		7 dias	28 dias	63 dias	
1:6 – Convencional	B1	2,22	2,39	2,51	
	B2	2,22	5,18	2,39	
	B3	2,39	4,61	2,51	
	B4	1,65	3,25	1,82	
	B5	2,00	4,44	1,94	
	B6	2,74	5,07	2,2	
	Média	2,20	4,16	2,23	
1:6 – Com resíduo	15%	B1	4,67	2,85	5,98
		B2	4,39	4,27	5,70
		B3	4,67	5,13	5,98
		B4	4,05	3,19	5,64
		B5	3,99	3,14	5,93
		B6	4,96	5,59	5,70
		Média	4,46	4,03	5,82
	20%	B1	2,14	3,19	2,85
		B2	3,02	4,05	3,14
		B3	3,16	4,50	3,53
		B4	2,85	4,05	4,16
		B5	2,90	3,59	3,08
		B6	2,85	2,79	3,36
		Média	2,82	3,70	3,35

Observando os valores do Quadro 4.13, verifica-se que as resistências à compressão simples para os blocos com o traço incorporado com 15% e 20% de resíduo com os tempos de cura de 07 e 63 dias foram superiores aos convencionais, sendo esses os acréscimos de 102% e 161% respectivamente para o traço com 15% de resíduo. Para o traço com 20% de resíduo os acréscimos foram de 28% e 50,2% respectivamente. Comparando esses valores com a norma da ABNT NBR 7184/91, verificamos que todos os resultados encontram-se dentro das especificações.

Observando o Quadro 4.14 verifica-se que os valores de resistência à compressão simples dos blocos com os traços incorporados com 15% e 20% de resíduos curados por períodos de 7, 28 e 63 dias foram superiores aos convencionais, sendo esses acréscimos de: 95%, 27,4% e 21% respectivamente para os traços com 15% de resíduos. Para os blocos com o traço incorporado com 20% de resíduos os acréscimos foram de: 69% e 19% respectivamente para os períodos de cura de 7 e 28 dias. Comparando os valores com a norma da ABNT NBR 7184/91, que especifica os limites de resistência à compressão simples ($RCS \geq 2,0$ MPa individualmente e $RCS \geq 2,5$ MPa para a média aos 28 dias, todos estão dentro das especificações.

Quadro 4.14 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:8.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)			
		7 dias	28 dias	63 dias	
1:8 – Convencional	B1	1,20	4,16	2,45	
	B2	2,34	3,42	3,13	
	B3	1,94	3,19	4,73	
	B4	1,77	2,85	3,02	
	B5	1,20	3,13	3,42	
	B6	1,43	2,90	3,42	
	Média	1,65	3,28	3,36	
1:8 – Com resíduo	15%	B1	4,39	3,42	3,42
		B2	3,13	3,47	3,65
		B3	2,79	4,96	5,36
		B4	2,62	3,79	3,99
		B5	2,96	4,79	5,13
		B6	3,42	4,67	2,85
		Média	3,22	4,18	4,07
	20%	B1	3,30	4,22	2,00
		B2	3,19	3,42	4,28
		B3	2,28	3,59	2,79
		B4	2,39	3,70	3,65
		B5	2,56	4,44	3,76
		B6	3,02	4,05	2,79
		Média	2,79	3,90	3,21

As Figuras 4.6, 4.7 e 4.8 apresentam os histogramas com a comparação entre a média dos resultados obtidos com os traços convencionais e alternativos. Os valores das resistências à compressão simples foram depurados através do critério de "Chauvenet". A aplicação desse critério significa-se que, em uma série de medidas, a probabilidade de ocorrência de um desvio de valor "X" é menor do que $1/2n$, conforme fórmula $P_x < 1/(2n)$, onde n é o número de medidas (DE MELLO, 2000).

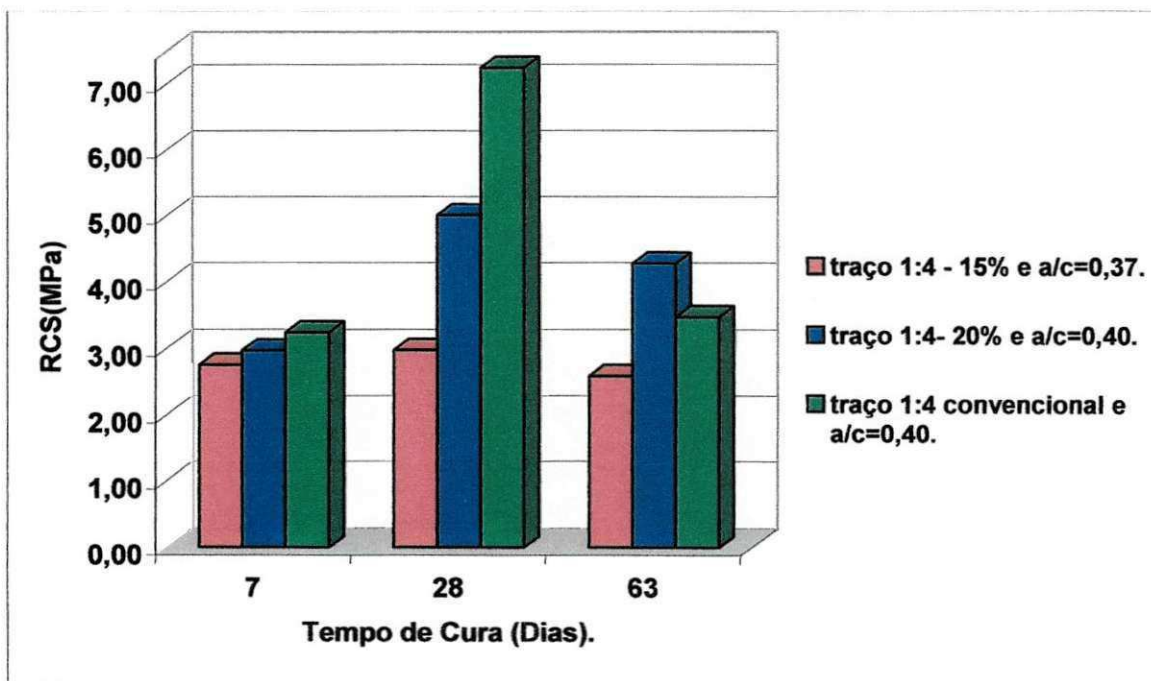


Figura 4.6 – Comparação entre as médias depuradas da resistência à compressão simples dos blocos no traço 1:4.

Analisando a Figura 4.6, observa-se que o traço alternativo com 15% e 20% de resíduo apresentou comportamento mecânico inferior ao convencional no tempo de cura aos 28 dias. A redução da resistência mecânica aos 63 dias de cura em relação aos 28 dias, deve-se provavelmente a perda de parte do óxido de cálcio presente no cimento causada pela água devido ao tempo de submersão, com isso diminuindo a densidade dos blocos. Em relação a norma da ABNT todos os resultados encontram-se dentro da especificações.

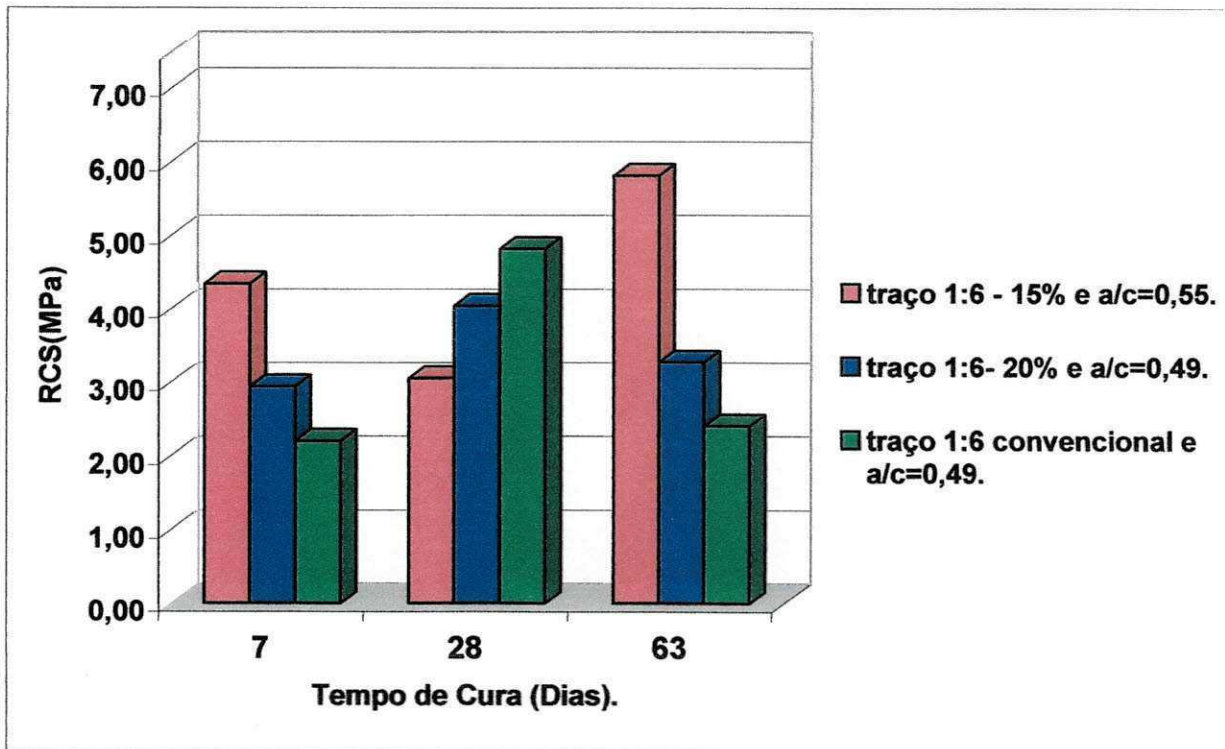


Figura 4.7 – Comparação entre as médias depuradas da resistência à compressão simples dos blocos no traço 1:6.

Analisando o histograma da Figura 4.7, verifica-se que para os tempos de cura de 7 e 63 dias os blocos com os traços alternativos apresentaram comportamento mecânico superior aos convencionais, sendo os melhores resultados para os traços com 15% de resíduo. Comparando esses resultados com a norma da ABNT NBR 7184/91 verifica-se que todos os valores encontram-se dentro das especificações.

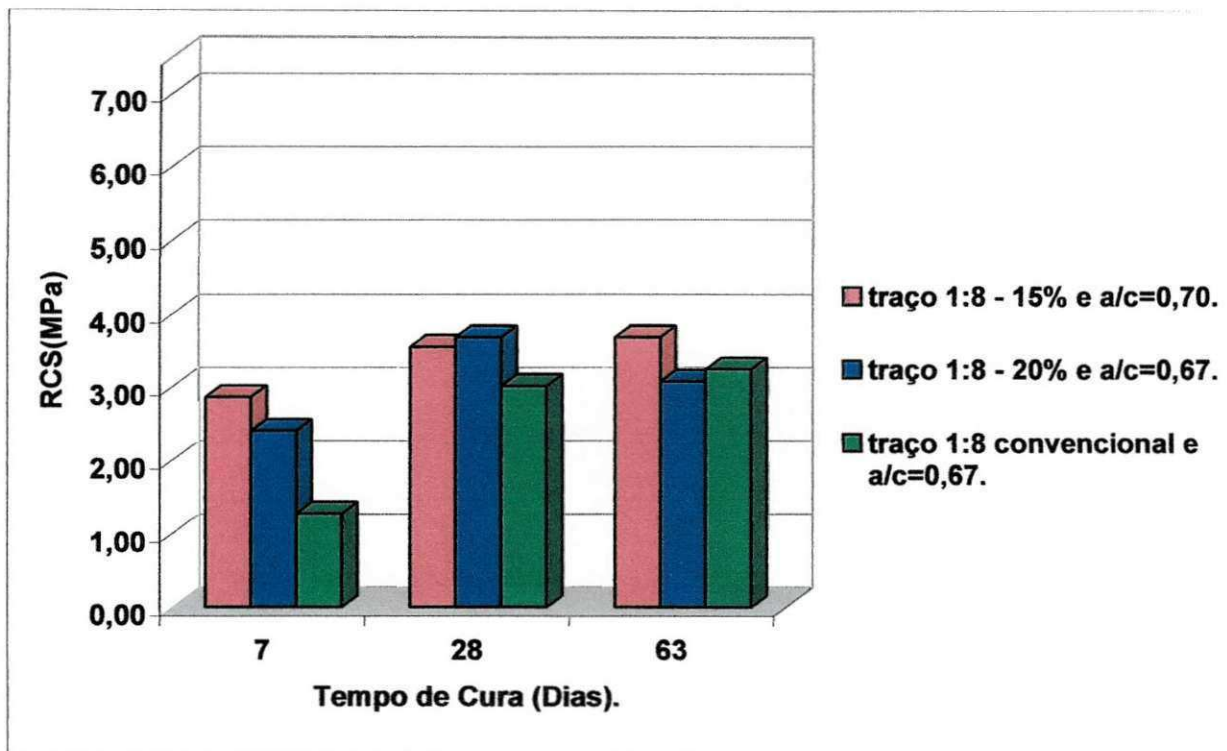


Figura 4.8 – Comparação entre as médias depuradas da resistência à compressão simples dos blocos no traço 1:8.

Analisando os valores da Figura 4.8, verifica-se que os blocos com os traços incorporados com 15% e 20% de resíduos para período de cura de 7, 28 e 63 dias apresentaram comportamento mecânico superior aos convencionais, sendo os melhores resultados obtidos para os traços com 15% de resíduo. Comparando esses resultados com a norma da ABNT NBR 7184/91 verifica-se que todos os valores encontram-se dentro das especificações.

4.2.2 - Verificação da Absorção de Água

O Quadro 4.15 apresenta os resultados individuais de absorção de água para os traços convencionais e alternativos 1:4, 1:6 e 1:8 incorporados com 15% e 20% de resíduos. Resultados sem depuração.

Quadro 4.15 – Resultados Individuais da Absorção por Imersão dos Blocos e sua média nos Traço 1:4, 1:6 e 1:8.

Composições		Absorção por Imersão (%)	
1:4 – convencional	B1	5,60	
	B2	5,70	
	B3	5,00	
	Média	5,43	
1:4 - com resíduo	15%	B1	8,80
		B2	9,50
		B3	8,50
		Média	8,93
	20%	B1	8,70
		B2	8,20
		B3	9,10
		Média	8,67
1:6 – convencional	B1	5,20	
	B2	6,10	
	B3	5,80	
	Média	5,70	
1:6 com resíduo	15%	B1	7,50
		B2	7,20
		B3	7,40
		Média	7,37
	20%	B1	6,80
		B2	7,30
		B3	7,10
		Média	7,07
1:8 – convencional	B1	5,80	
	B2	5,50	
	B3	6,00	
	Média	5,77	
1:8 com resíduo	15%	B1	7,10
		B2	7,10
		B3	7,40
		Média	7,20
	20%	B1	7,00
		B2	6,50
		B3	6,60
		Média	6,70

Analisando os resultados apresentados no Quadro 4.15 verifica-se que os valores de absorção estão de acordo com a norma ABNT NBR 12118/91, que especifica os limites da absorção de água ($A_b \leq 15\%$ individualmente e $A_b \leq 10\%$ para a média). Comparando os valores dos traços convencionais com os alternativos verifica-se que houve um aumento da absorção para os traços alternativos. Realizando a comparação entre os traços com incorporação de resíduos, o traço 1:4 foi o que apresentou a maior absorção de água.

A Figura 4.9 apresenta o histograma com a média dos resultados da absorção de água dos blocos nos traços convencionais e alternativos 1:4, 1:6 e 1:8 com incorporação de 15% e 20% de resíduos curados por períodos de 28 dias.

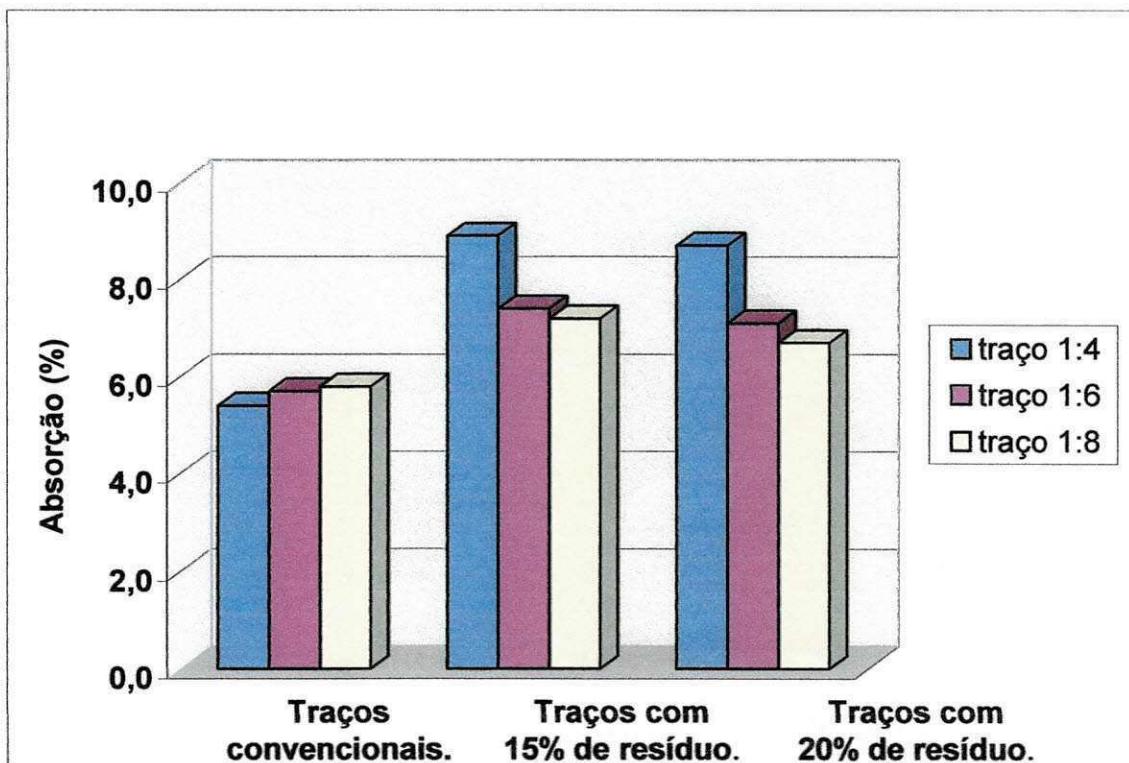


Figura 4.9 – Comparação entre as médias da absorção de água dos blocos convencionais e alternativos para período de cura de 28 dias.

Analisando os valores da Figura 4.9, verifica-se que os valores encontrados para a absorção de água dos blocos convencionais foram inferiores aos dos blocos com os traços incorporados com 15% e 20% de resíduos. O aumento nos valores de absorção de água nos traços incorporados com resíduos se deve provavelmente a distribuição do tamanho de partículas presente no resíduo, ou seja, devido a uma maior quantidade de partículas fina. Comparando esses valores com as normas da ABNT verifica-se que todos os resultados encontram-se dentro das especificações.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

5.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas pelos ensaios de caracterização mineralógica do resíduo de caulim e ensaios tecnológicos realizados nos blocos de concreto simples sem função estrutural confeccionados com os traços convencionais e alternativos 1:4, 1:6 e 1:8 com incorporação de 15% e 20% de resíduo de caulim. Neste capítulo também serão apresentadas sugestões para futuras pesquisas, visando confirmar e acrescentar subsídio a potencialidade do uso de resíduo de caulim na confecção de blocos de concreto simples não estrutural.

5.2 – CONCLUSÕES

- ✓ A análise química e difração de raios-X do resíduo constataram a presença de quartzo, indicando grande probabilidade de uso como agregado miúdo em confecção de blocos de concretos;
- ✓ Comparando os limites granulométricos do resíduo de caulim utilizado nesta pesquisa com os limites granulométricos de agregado miúdo estabelecidos na norma ABNT NBR 7211/83, observa-se que este material não se enquadra em nenhuma das zonas constante na norma, portanto o seu uso como agregado miúdo requer que seja realizado um estudo prévio de dosagem;

- ✓ Todos os blocos moldados com os traços convencionais de referência apresentaram resultados de resistência à compressão simples dentro dos limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 7184/91. Contudo, o que apresentou melhor resultado foi o traço 1:4, resultado esperado, pois o mesmo é o que tem a maior proporção de cimento em relação aos agregados;
- ✓ Todos os blocos moldados com os traços com incorporação de resíduos apresentaram resultados de resistência à compressão simples em conformidade com a norma ABNT NBR 7184/91. Todavia, do ponto de vista econômico e ambiental o traço 1:8 com 20% de incorporação de resíduo é o mais indicado, pois apresenta menor consumo de cimento e maior percentual de incorporação de resíduo;
- ✓ Os valores médios depurados obtidos para a resistência à compressão simples dos blocos produzidos com incorporação de resíduos no traço 1:8, apresentaram resultados ligeiramente superiores aos dos blocos produzidos com o traço convencional 1:8;
- ✓ Os resultados de absorção de água aos 28 dias de idade dos blocos produzidos com incorporação de resíduo de caulim apresentaram valores superiores aos dos blocos produzidos com os traços convencionais. Contudo, todos os valores atendem as normas da ABNT;
- ✓ A proposta de fabricação de blocos de concreto simples sem função estrutural a partir da utilização do resíduo de caulim como material incorporado ao agregado miúdo (areia), resultado desta pesquisa, mostra-se viável, uma vez que os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos se apresentaram dentro das especificações das normas da ABNT NBR 7184/91 e NBR 1211/91, bem como apresenta mais uma maneira de retirar do meio ambiente este resíduo.

5.3 – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- ✓ Realizar ensaios para avaliar o grau de toxicidade do resíduo de caulim;
- ✓ Realizar pesquisa junto as empresas mineradoras e beneficiadoras de caulim no Estado da Paraíba, para avaliar a produção mensal de resíduos de caulim gerados por estas empresas;
- ✓ Fazer um estudo para avaliar a viabilidade econômica para blocos de vedação com incorporação do resíduo de caulim;
- ✓ Realizar estudos para verificar a viabilidade técnica e econômica de um percentual maior de incorporação do resíduo de caulim para os traços utilizados nesta pesquisa, com 30%, 40% e 50% de incorporação;
- ✓ Construir protótipos em alvenarias usando blocos produzidos com o traço 1:8 incorporado com 20% de resíduo de caulim sugerido nesta pesquisa, para avaliar as condições reais de construção e uso a longo prazo.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, R.M. **Solidificação/Estabilização de Resíduos Sólidos Oleosos de Atividades de Exploração e Produção de Óleo em Matrizes de Cimento.** Vitória, 2002. 191p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo.

ALVES, FRANCISCO. **O que está sendo feito com os resíduos industriais?.** Revista Saneamento Ambiental – Nº 45 – Nov/Dez, pp 16-24(1998).

ALVES, JOSÉ DAFICO. **Manual de Tecnologia do Concreto.** São Paulo: Nobel, 1978.

ÂNGULO, S. C. **Produção de Concretos com Agregados Reciclados.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Departamento de Construção civil. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1998. 86p.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, Brasília, DNPM, 2000.

ARAÚJO, E. S. **Utilização dos resíduos da serragem de granitos na produção de tijolos sílica-cal para uso na construção civil.** Campina Grande, 2002. 108p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – NBR 7251.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Agregado para concreto – NBR 7211.** Rio de Janeiro, 1983.

_____. **Agregado em estado solto compactado seco – Determinação da massa unitária - NBR 7810.** Rio de Janeiro, 1983.

____. **Agregados – Determinação da composição granulométrica – NBR 7217.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **Agregados – Determinação da análise granulométrica de solos – NBR 7181.** Rio de Janeiro, 1984.

____. **Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos – NBR 7219.** Rio de Janeiro, 1983.

____. **Agregados – Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregados miúdo – NBR 7220.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis – NBR 7218.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapmam – NBR 9776.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo – NBR 9937.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **Amostragem de resíduos – NBR 10007.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural – NBR 7173.** Rio de Janeiro, 1982.

____. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria-Determinação da resistência à compressão – NBR 7184.** Rio de Janeiro, 1991.

____. **Blocos vazados de concreto para alvenaria – Retração por secagem – NBR 12117,** Rio de Janeiro, 1991.

____. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria-Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida – NBR 12118.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica – NBR NM 23.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira nº200 – NBR 11579.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Cimento Portland – Determinação da finura pelo método da permeabilidade ao ar (Método de Blaine) – NBR NM 76.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão – NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega – NBR 11581.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica – NBR 6508.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10004.** Rio de Janeiro, 2004.

BARATA, M. S. ; MOLIN, D. C. C. Avaliação Preliminar do Resíduo Caulínico das Indústrias de Beneficiamento de Caulim como Matéria-Prima na Produção de uma Metacaulinita Altamente Reativa. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, Porto Alegre.

BERNSTEIN, H. Bridging the globe: creating na international climate and chellengs of sustainable design and construction. Industry and environment, Paris, v.29 n.2, p. 19 – 21, abr./jun. 1996.

BEZERRA, A. J. V. Utilização do Resíduo da Industria de Calçados (EVA – ETILENO ACETATO DE VINILA) como Agregado Leve na Produção de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria sem Função estrutural. Campina

Grande, 2002. 115p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba.

BORGES, ALBERTO DE CAMPOS. **Prática das Pequenas Construções**, Editora Edgard Blucher Ltda. 1996, São Paulo.

CENTRO DE EDUCAÇÃO E CULTURA DO TRABALHADOR RURAL-PROJETO CONSTRUIR. **Construindo a Agenda 21 no Estado de Pernambuco, Tema: Economia Sustentável, Versão I**. Recife, 2002.

CHEN, J.J.; CHAMBERS, D. **Sustainability and the Impact of Chinese Policy Initiatives upon Construction**. J Construction Management and Economics. N.º 17, 1999.

CHIAVERINI, V. "Desenvolvimento Sustentado". Metalurgia e Materiais. **ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais**. São Paulo. V 50. n. 435. p. 1066. Novembro, 1994.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resoluções CONAMA: 1984/1986. Brasília, SEMA, 1986.

CRAVEN, D.J.; OKRAGLIK; H. M.; EILENBERG, I.M. **Construction Waste and – new Design Methodology**. In **CIB TG 16 Sustainable Construction. Proceedings**. Tampa, Florida, November 6 – 9, 1994 p. 17 – 28.

CURWELL, S.; COOPER, I. **The Implications of Urban Sustainability**. **Building Research and Information**. 1998 V. 26, Nº 1.

DE MELO, A.B. **Influência da cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos concretos de cimento Portland**. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos.

DORSTHORST, B.J.H; HENDRIKS, Ch. F. **Re-use of construction and demolition waste in the EU**. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. **Proceedings**. São Paulo, EPUSP, 2000.

E & P FORUM. Publicação: **Exploração and Produção (E & P) Waste Management Guidelines**. Report N° 2.58/196, setembro de 1993.

FEITOSA, A. O. **Utilização do Resíduo da Serragem de Granito para Uso em Blocos de Concreto sem Função Estrutural**. Campina Grande, Paraíba, 2004. 92p. Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande.

FELLENBERG, G. **“Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental”**. 2ª Edição. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 1980, 193p.

FERREIRA, H. C. **Caracterização e Aplicações Industriais de Argilas, Caulins e Feldspatos do Nordeste Brasileiro** (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte). São Paulo, 1972. 199p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo –Escola Politécnica- Departamento de Engenharia Química.

FONSECA, D.C. **Metodologia para reciclagem de resíduos sólidos industriais**. Belo Horizonte, 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Curso de Pós- Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas.

FONSECA, MARIA G. P. **Estudo do Resíduo Oleoso das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo na Manutenção de Estradas de Terra – Enfoque Ambiental**. Vitória, 2003. 181p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo.

GRÜN, R. **Zusammensetzung und beständigkeit von 1850 Jahre Beton**. Angewandte Chemie, 1935. Nr. 7, S. 124-127. (apud Levy, 1997).

GUIMARÃES, L. C. **Utilização do Resíduo Proveniente da Produção do Caulim como “Filler” no Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)**. Pesquisa PIBIC, CNPq, DEC/CCT/UFMG, 2004.

GUNTHER, W.M.R. **Minimização de resíduos e educação ambiental**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000. **Anais**. Curitiba, 2000.

HENDRICKS, C.F. **Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings**. In: Environmental aspects of construction with waste materials. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 821-834.

HILL, R. C.; BERGMAN, J.; BOWEN, P.A. **A Framework for the Attainment of Sustainable Construction. CIB TG 16 Sustainable Construction. Proceedings**. Tampa, Flórida, November 6 – 9, 1994.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. “Mineração e Meio Ambiente”, 1998, Brasília, DF.

JOHN, V.M.J. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-55.

JOHN, V.M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Cível – Contribuição a Metodologia de Pesquisas e Desenvolvimento**. São Paulo, 2000 120p.

LEVY, S. M. **Reciclagem do Entulho de construção civil, para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos**. São Paulo, 1997. 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LIDDLE, B.T. **Construction for Sustainability and the Sustainability of the Construction Industry.** In: **CIB TG 16 Sustainability Construction. Proceedings.** Tampa, Flórida, November 6 – 9, 1994, p. 47 – 56.

LIMA, F. C. A. A. **Resíduo Proveniente do Corte de Rochas Ornamentais: Uma Alternativa de Utilização na Pavimentação.** Campina Grande, Paraíba, 2003. 79p. Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande.

MARTINS, G. B. H.. **Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1997, Florianópolis, SC.

MATTOSO, S. Q.; VIDAL, J. L. B. **Notas Sobre Algumas Argilas de Pernambuco.** Cerâmica 12 (47-48), 20 (1996).

MAY, PETER H. e al. **Economia do meio ambiente: Teoria e Prática.** Editora CAMPUS, Rio de Janeiro – 2ª Reimpressão, 2003.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** São Paulo, 1993. 449p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MÖLLER, L. M.; BARROS, R. T. V. **Limpeza Pública.** In: **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios.** 1988. pg. 183.

NEVES, G. A. **Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria prima cerâmica.** Campina Grande, 2002. 256p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba.

PAIVA, G. **Províncias Pegmatíticas do Brasil.** Boletim n.º 78 do Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, 1946.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ROCCA, ^aC.C. et al. **Resíduos sólidos industriais**. 2 ed. rev. ampl. São Paulo, CETESB, 1993.

ROCHA, A. K. A. **Reciclagem de Resíduo de Caulim Utilizado em Argamassa**. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2005, Campina Grande, PB.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de Argilas – Aplicada às Argilas Brasileiras**. Editora Edgard Blucher Ltda. 1975, São Paulo. 2v.

SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito – Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassa de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento**. Vitória, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo.

SILVA, S. P. **Geologia do Caulim**. 2ª ed., Belém: DNPM 5º DS/DNPM, 1993, 18p. il.

SINAPROCIM – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento. Disponível em: http://www.sinaprocim.org.br/produtos/produtos_blocos.htm. Acessado em janeiro de 2004.

SJÖSTRÖM, C. **Service life of building**. In: **Applications of the performance concept in building**. Proceedings ... CIB: Tel Aviv, 1996 v2.

SOUZA, U.E.L. *et al.* **Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito**. In: SIMPÓSIO NACIONAL – DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NOS CANTEIROS DE OBRAS: A QUEBRA DO MITO. São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo (PCC/EPUSP), 1999. 48p.

TANGO, C.E.S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade.** 1 ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1984, v.1.

THIENSEN, M.P. **Metodologia de Minimização Aplicada no Gerenciamento de resíduos.** Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa – Paraíba, Setembro de 2001.

ZORDAN, S. E. **A utilização do Entulho como agregado na Confeccção do Concreto.** Campinas, 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.

ZWAN, J.T. **Application of waste materials – a success now, a success in the future.** In: WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTIONS: PUTTING THEORY INTO PRACTICE. Great Britain, 1997. **Proceedings.** Great Britain, 1997. p.869-81.